



ANÁLISIS DE DATOS LIDAR Y NAVEGACIÓN PARA ALTIMETRÍA MEDIANTE UAVS

TRABAJO DE FIN DE GRADO UNIVERSIDAD CARLOS III DE
MADRID



Autor:

Francisco López Cabrero

Tutor:

Jesús García Herrero

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer este proyecto a mis padres y familiares por todo el apoyo que me han dado durante todos estos años tanto en los momentos buenos como en los malos, sin los cuales no habría logrado llegar hasta aquí.

También quiero agradecer a mis compañeros de universidad, los cuales han sido un gran apoyo en estos años y los amigos de toda la vida que, sin importar las circunstancias, han estado en todo momento para apoyarme en todos estos años.

Finalmente, quiero realizar un agradecimiento especial a mi tutor, Jesús García Herrero, por todo el apoyo recibido en todo el proceso desde la elección del tema hasta este punto de finalización del proyecto.

Francisco López Cabrero

RESUMEN

Si observamos la popularidad de los vehículos aéreos, podemos comprobar cómo en estos últimos años han experimentado un gran crecimiento continuado donde gran parte de este crecimiento ha sido conseguido gracias a la continua investigación de estos aparatos y sus posibles mejoras para su utilización en todo tipo de entornos y con todo tipo de aplicaciones.

Su nacimiento fue como aplicación en el ámbito militar y como a partir de este, hoy en día, se usa para todo tipo de sectores como son: la agricultura, la arqueología, la construcción, la logística o la vigilancia de terrenos entre otros gracias a su versatilidad en cada uno de estos posibles campos.

Se observa cómo, gracias a que cada día es un objeto más cotidiano en el uso de algunos trabajos, se estudian distintos campos de investigación por cada uno de los sectores que sienten la necesidad de poder explotar este recurso para que cada vez tenga más autonomía y sea necesario un menor control y seguimiento por parte del ser humano. Es decir, se busca la fiabilidad y eficiencia de estas aeronaves en los distintos campos de trabajo disponibles.

Entre todos los posibles campos sobre los que se puede aplicar los drones, este trabajo de fin de grado se ha centrado en la investigación de la obtención de la altimetría a través de los sensores que compone este dron y observar las diferencias entre estos para así, obtener los datos más fiables posibles y poder realizar mapas 3D con las alturas del terreno obtenidas por el dron. Es decir, se realiza un estudio de la fiabilidad de los sensores del dron para comprobar la utilidad de los datos obtenidos y posibles maneras de mejorarlos. Por otra parte, se realizará el cálculo de la altimetría del suelo durante las misiones gracias al sensor LIDAR, que se equipará al cuadricóptero y sobre el que se realizará un estudio para intentar obtener los mejores datos posibles teniendo en cuenta el entorno del dron durante las misiones para poder mostrar finalmente un mapa 3D con el recorrido realizado.

En este caso, para la realización de este proyecto se ha utilizado un cuadricóptero configurado en "X" que es versátil y fácil de manejar. Este cuadricóptero utiliza un Pixhawk que es un microprocesador con autopiloto sensores embarcados e interfaces para conectar otros sensores y PX4 como su software instalado.

Además, utilizaremos un GPS, un barómetro y el anteriormente mencionado LIDAR para tratar con la altimetría del dron y del suelo y realizar una comparación para conocer cuál toma como referencia el dron en los vuelos. Como software utilizado en los vuelos se ha elegido el programa QGroundControl que será el encargado de monitorizar el dron en todo momento desde que es armado hasta que se apaga. Para ello, en primer lugar, habrá que configurarlo para que a través de la telemetría sea detectado y seguidamente sea calibrado para que podamos: seleccionar el tipo de vuelo que se desea realizar en la zona, indicar la velocidad que se quiere mantener durante todo el vuelo, la altura sobre la que se quiere que vuele en cada punto seleccionado y las zonas donde se pide que despegue y aterrice. Con todo ello, una vez realizado los vuelos, se obtendrán a partir del Pixhawk todos los datos correspondientes a los sensores durante los vuelos, los cuales deberán ser convertidos a un formato útil para la realización de las gráficas comparativas para cada prueba.

El ciclo que se seguirá durante todo el proyecto se puede diferenciar en 9 partes, donde cada una de ellas tendrá una funcionalidad distinta al resto.

- Se configurarán todos los sensores y se calibrará el dron antes de la realización del vuelo.
- Se especifica el tipo de prueba que se va a realizar teniendo en cuenta el terreno por el que va a circular y lo que se pretende demostrar con ella.
- Se realiza el vuelo teniendo control en todo momento de cuál es la situación del dron en cada momento y que todo está funcionando como se había especificado.
- Una vez realizado el vuelo se coge el log de este para su futuro estudio.
- Se transforman los datos obtenidos por el log a un formato delimitado que pueda ser usado en Excel utilizando un script programado en Python. Una vez transformados se modifican teniendo un formato delimitado por comas.
- Con los datos conseguidos de los sensores se aplica el tratamiento de los distintos ficheros con el objetivo de plasmarlos de la manera más fiable y cercana a la realidad.

- Se realizan las tablas que expresan lo que se intenta demostrar en las pruebas a través de Matlab y de Excel.
- Se comprueban esas gráficas y se determina si se ha cumplido el objetivo que se buscaba y si todo ha funcionado de la manera que se esperaba.

Como último paso iterativo del proyecto se prepara la siguiente prueba con el siguiente objetivo y se repetirá todo el proceso hasta que todas las pruebas hayan sido realizadas.

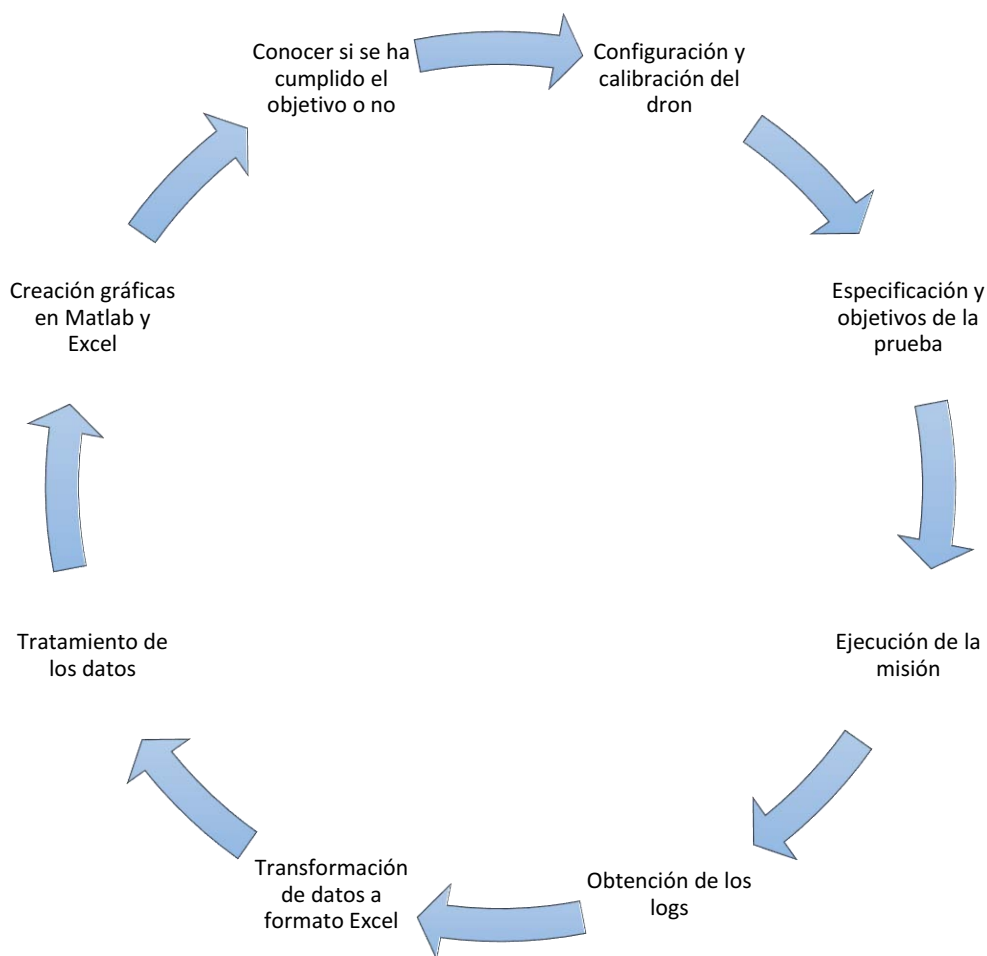


Ilustración 1: proceso iterativo del proyecto.

Con todo el proceso especificado, se busca obtener la mayor fiabilidad de los datos durante las pruebas conociendo como se comporta el dron y sus sensores en los distintos terrenos y una vez conociendo su funcionamiento obtener la altura del terreno de la manera óptima.

CONTENIDO

1. Introducción	9
1.1 Visión General	9
1.2 Motivación	10
1.3 Objetivos	10
1.4 Estructura del documento	12
2. Marco teórico	14
2.1 Marco regulador	14
2.1.1 Marco legal en España	14
2.1.2 Impacto socioeconómico en la sociedad	16
3. Estado del arte	18
3.1 Definición de dron	18
3.2 Clasificación de drones	19
3.3 Funcionamiento de drones multirrotor	24
3.3.1 Funcionamiento de drones multirrotor	28
3.4 Tecnologías utilizadas durante el proyecto	30
3.5 Antecedentes al proyecto y posible software alternativos	33
4. Gestión del proyecto	36
4.1 Planificación temporal y Gantt	36
4.2 Presupuesto	39
4.2.1 Coste del Hardware	43
4.2.2 Coste del Software	43
4.3 Definición de requisitos funcionales	44
5. Sensor LIDAR	49
5.1 Definición del sensor LIDAR y propiedades	49
5.2 Conexión del LIDAR al dron	49
5.3 Transformación de los datos del LIDAR para su uso en las pruebas	50
6. Desarrollo de las pruebas	51
6.1 Ejecución de la misión sin obstáculos	52
6.2 Ejecución de la misión con obstáculos en el suelo	59
6.3 Ejecución de la misión por patrón de vigilancia con diferentes velocidades	66
7. Análisis de resultados	71
8. Conclusiones	75
9. Referencias y bibliografía	78

10.	Acrónimos y definiciones	81
11.	Project summary	83
11.1.	Abstract	83
11.2.	Objectives	86
11.3	Results	87
11.4	Conclusions	91

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1:	proceso iterativo del proyecto.	4
Ilustración 2:	dron Aerostato.	19
Ilustración 3:	dron Aerodino.	19
Ilustración 4:	explicación de drones de ala fija.	20
Ilustración 5:	dron de ala alta.....	20
Ilustración 6:	dron de ala media.....	20
Ilustración 7:	dron de ala baja.....	21
Ilustración 8:	dron de ala volante	21
Ilustración 9:	aeronave rotor principal y rotor de cola.	22
Ilustración 10:	aeronaves con único rotor.	22
Ilustración 11:	aeronave dos motores en configuración coaxial.	23
Ilustración 12:	aeronaves con dos motores en configuración tándem.....	23
Ilustración 13:	configuraciones en drones multirotor.	24
Ilustración 14:	movimientos de los ejes de un dron.	25
Ilustración 15:	movimiento del roll.	25
Ilustración 16:	movimiento del pitch.	26
Ilustración 17:	movimiento del yaw.....	26
Ilustración 18:	dron híbrido.....	27
Ilustración 19:	forma general del dron con los sensores.	30
Ilustración 20:	Pixhawk 4.	31
Ilustración 21:	QGroundControl.....	32
Ilustración 22:	ejemplo del software PX4Mapper.....	34
Ilustración 23:	ejemplo de triangulación Delaunay	35
Ilustración 24:	Gantt.....	38
Ilustración 25:	publicación del BOE de sueldos 2018.....	41
Ilustración 26:	misión preparada por el programa QGroundControl de terreno llano.	52
Ilustración 27:	gráfica en Matlab comprobando que se realizó correctamente la misión 1.	53
Ilustración 28:	gráfica en Matlab mostrando las diferencias de alturas por los sensores del dron.	54
Ilustración 29:	gráfica en Matlab reflejando el movimiento del pitch en grados durante la misión 1.	55
Ilustración 30:	gráfica en Matlab reflejando el movimiento del roll en grados durante la misión 1.....	56
Ilustración 31:	gráfica Excel reflejando la altura del LIDAR en metros y la altura corregida.	57

Ilustración 32: gráfica Excel reflejando la altura de LIDAR en metros sobre el nivel del mar y la altura corregida.	57
Ilustración 33: gráfica en Matlab del mapa 3D desde arriba de la misión 1.....	58
Ilustración 34: gráfica en Matlab 3D sobre la misión realizada.	58
Ilustración 35: misión preparada por el programa QGroundControl de terreno con obstáculos.	59
Ilustración 36: gráfica en Matlab comprobando que se realizó correctamente la misión 2.	60
Ilustración 37: gráfica en Matlab mostrando las diferencias de alturas por los sensores del dron.	61
Ilustración 38: gráfica en Matlab reflejando el movimiento del pitch durante la misión 2.....	62
Ilustración 39: gráfica en Matlab reflejando el movimiento del roll durante la misión 2.	63
Ilustración 40: gráfica Excel reflejando la altura del LIDAR en metros y la altura corregida.	63
Ilustración 41: gráfica Excel reflejando la altura de LIDAR en metros sobre el nivel del mar y la altura corregida.	64
Ilustración 42: gráfica en Matlab del mapa 3D desde arriba de la misión 2.....	64
Ilustración 43: gráfica en Matlab 3D sobre la misión 2 de frente.	65
Ilustración 44: gráfica en Matlab 3D sobre la misión 2 por otro ángulo.....	65
Ilustración 45: misión preparada con el patrón de vigilancia 2.	66
Ilustración 46: misión preparada con el patrón de vigilancia 1.	66
Ilustración 47: gráfica en Matlab comprobando la misión de vigilancia 2.....	67
Ilustración 48: gráfica en Matlab comprobando la misión de vigilancia 1.....	67
Ilustración 49: gráfica en Matlab reflejando las diferencias de alturas por los sensores de la misión de vigilancia 2.	68
Ilustración 50: gráfica en Matlab reflejando las diferencias de alturas por los sensores de la misión de vigilancia 1.	68
Ilustración 51: gráfica en Matlab reflejando el movimiento del roll en grados en la misión de vigilancia 1.....	69
Ilustración 52: gráfica en Matlab reflejando el movimiento del pitch en grados en la misión de vigilancia 1.....	69
Ilustración 53: gráfica en Matlab reflejando el movimiento del roll en grados en la misión de vigilancia 2.....	70
Ilustración 54: gráfica en Matlab reflejando el movimiento del pitch en grados en la misión de vigilancia 1.....	70
Ilustración 55: iterative process of the project.	86

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: sensores de los que se compone el Pixhawk.	29
Tabla 2: sensores añadidos al dron.	29
Tabla 3: planificación temporal.....	38
Tabla 4: trabajo por cada rol.	39
Tabla 5: sueldo del equipo de proyecto.	42
Tabla 6: coste del hardware	43
Tabla 7: coste del software.	43
Tabla 8: especificación de la tabla de requisitos.....	44

Tabla 9: RF-01 Adición del sensor LIDAR.	45
Tabla 10: RF-02 Comparativa de alturas entre GPS, barómetro y LIDAR.....	46
Tabla 11: RF-03 Generación de gráfica del terreno circulado por el dron.....	46
Tabla 12: RF-04 Generación gráficas pitch y roll.....	47
Tabla 13: RF-05 Generación de función de la altura del terreno durante la misión del dron. ...	47
Tabla 14: RF-06 Generación de la función de la altura del LIDAR y la corregida por la inclinación.	48
Tabla 15: RF-07 Generación de la función de creación de una gráfica 3D con la altura del terreno.	48
Tabla 16: verificación de requisitos en el proyecto.	74
Tabla 17: verifying requirements in the project.	90

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: corrección de las alturas proporcionadas por el LIDAR.....	56
--	----

1. Introducción

1.1 Visión General

Los datos más antiguos que se tienen sobre los vehículos aéreos no tripulados (UAV son las siglas en inglés) datan de 1849 donde el ejército Austriaco lo usó en una batalla contra Venecia. [2]

Desde ese primer prototipo utilizado entonces, los UAV han sido un campo tecnológico que ha sido investigado para la mejora de los prototipos y la adición de nuevas funcionalidades, principalmente orientado en un principio para el ámbito militar debido a sus diversas aplicaciones y ahora que ha avanzado el tiempo se está empezando a aplicar a diversos campos como pueden ser para la seguridad o para la ayuda en labores de agricultura entre otros.

La utilización de los UAV en estos campos apareció gracias a los diferentes grupos de investigación los cuales pudieron comprobar como los UAV no tenían por qué tener una sola función bélica, sino que podría ser utilizado como una ayuda para la población teniendo en cuenta cuáles son sus cualidades y en qué ámbitos de la sociedad podrían ser utilizados. [1]

Por ello, desde esta expansión de estos UAV como uso para la sociedad, los diferentes gobiernos han tenido que empezar a plantearse la creación de leyes donde se contemplan algunas restricciones que deben seguir aquellas personas que tienen dron como puede ser el vuelo de estos en zonas donde no esté permitido por su gran afluencia de gente o la defensa de la privacidad de las personas que pueden ser observadas por los drones.

Es decir, leyes que aseguren que los drones son utilizados de la manera que les corresponde y no su uso indebido.

Actualmente, esta tecnología se ha convertido en uno de los campos de investigación más importante donde actualmente se le está dando mucha relevancia a los sistemas de control del UAV donde se le da prioridad a que el sistema no pueda quedar inutilizado y manipulado por otras personas que no son los portadores del dron.

Como se especifica anteriormente, se utiliza actualmente en campos como labores de vigilancia, en la arqueología y es por ello por lo que se necesitan que los sistemas de control sean robustos y fiables para que no existan

problemas en los dispositivos que impidan la realización de su función de manera autónoma.

1.2 Motivación

En este trabajo de fin de grado se va a observar el funcionamiento del cuadricóptero durante todo su trayecto desde que despegue hasta que aterriza, el cual será dictaminado por misiones predefinidas, con el objetivo de comprobar cuál es la fiabilidad de los datos recibidos por los sensores y posteriormente la fusión de las distintas mediciones para poder así trabajar con ellos.

En este caso se observarán los sensores que tienen que ver con las alturas obtenidas por el GPS, el LIDAR y el barómetro teniendo en cuenta la fiabilidad de los datos de cada sensor con los errores obtenidos de cada uno.

Este tema ha sido elegido con el objetivo de conocer más en profundidad el funcionamiento de los sensores que van adheridos al dron para la realización de los mapas 3D con la altimetría de los datos obtenidos por los mismos con la mayor fiabilidad posible realizando la unión de estos.

Esta investigación es relevante en el estudio del uso de los cuadricópteros en distintos ámbitos, en este caso en la geografía, ya que se busca la creación de mapas con la mayor precisión posible teniendo en cuenta los datos obtenidos por sus sensores y el postprocesado de los mismos, ya que hasta entonces los datos proporcionados por los sensores pueden ser disjuntos y se pueden obtener distintas mediciones sobre el mismo punto dando así unos valores que no serían del todo fiables.

1.3 Objetivos

El objetivo de este proyecto es la captura, procesamiento y análisis de datos de los sensores teniendo en cuenta los datos proporcionados durante los diferentes vuelos. Dentro de este objetivo se tendrán en cuenta otros subobjetivos como pueden ser:

- Configuración del hardware del dron, teniendo el dron preparado con todos sus sensores preparados para los vuelos y configurados para su perfecto funcionamiento e intentando obtener la mayor fiabilidad.

- Configuración del hardware que se va a utilizar durante los vuelos de manera que esté calibrado con el dron y se tenga control del vuelo en todo el momento y con una tasa de error lo más pequeña posible en relación con el movimiento del dron durante las misiones.

- Preparación de las misiones teniendo en cuenta distintos valores que se aplicarán durante el vuelo, además de los distintos circuitos que se realizarán para conocer el comportamiento de todos los sensores en los distintos terrenos.

- Tratamiento del Lidar en comparación al resto de sensores que tratan alturas para obtención de la altimetría del suelo con el dron durante las misiones realizadas.

- Tratamiento del LIDAR en comparación al resto de sensores que tratan alturas para obtención de la altimetría del suelo con el dron durante las misiones realizadas.

Además, el proyecto tiene objetivos secundarios cuyo cumplimiento también es necesario para futuros proyectos que fueran a utilizar la misma tecnología.

Entre ellos destacaremos los dos más importantes que son:

- Estudiar las futuras mejoras que podrían ser añadidas a la solución propuesta por este trabajo para la obtención de la altura del terreno utilizando una cámara que ayudara al LIDAR a obtener entre ellos los datos más fiables utilizando entre otras cosas más software del que se aplica en este proyecto como sería PX4Mapper.

- Análisis de los sensores del dron para conocer su funcionamiento grupal, utilizando el entorno del mismo en cada momento, de manera que mientras que esté volando sea capaz de detectar y esquivar todos los obstáculos que se encontrara.

1.4 Estructura del documento

El presente documento se descompone en los siguientes apartados:

1. **Introducción:** En este primer apartado se va a realizar un resumen de como ha avanzado los UAV hasta el punto actual argumentando cuales son las motivaciones y los objetivos que busco a la hora de realizar este trabajo

2. **Marco teórico:** Dentro de este segundo apartado se va a realizar un análisis sobre el entorno que tiene el proyecto a realizar.

Dentro del mismo podremos dividirlo en:

- a. Estudio de las leyes aplicables a los drones en España.
- b. Estudio del impacto socioeconómico que tienen los drones en el mercado.

3. **Estado del arte:** En este apartado se realizará el planteamiento del problema en el cual para ello se hablarán de diferentes aspectos relacionados con los drones. Este apartado incluye:

- a. Un estudio enfocado a la definición propia de los drones con su clasificación y características principales de los distintos tipos.
- b. Estudio de los distintos sensores con los que cuenta el dron con el que se realizará el TFG explicando diferentes características y funcionalidades de cada uno
- c. Análisis de las distintas tecnologías que se utilizan durante todo el desarrollo del trabajo.
- d. Estudio de distintas alternativas para utilización en el proyecto

4. **Desarrollo del proyecto:** En este apartado se expondrá la realización de los objetivos incluyéndose:

- a. Definición, configuración y tratamiento de los datos del sensor LIDAR.
- b. Definición de las distintas pruebas a realizar para comprobar el grado de fiabilidad de los datos obtenidos por los drones en los diferentes entornos
- c. Observación de distintos parámetros que afecten a los datos obtenidos e intento de mejora de estos para obtención de una mayor fiabilidad de representación del vuelo
- d. Posibles mejoras que podrían ser aplicadas sobre el dron para obtener así mejores resultados en las pruebas

5. **Análisis de los resultados:** En este apartado se van a observar los distintos resultados obtenidos a lo largo de las pruebas, teniendo en cuenta todo el proceso realizado y observando si se cumplen los objetivos que se habían entablado anteriormente.

6. **Conclusión:** En este apartado de conclusión se realizará un resumen general de todo el proceso de desarrollo del proyecto, con las conclusiones que se han podido obtener y cuales podrían ser las utilidades de lo realizado durante este proyecto.

7. **Referencias y bibliografía:** En este apartado se adjuntará la bibliografía que se ha utilizado como referencia para la realización del proyecto

8. **Acrónimos y definiciones:** En este apartado se definen todo aquel término técnico y acrónimos que han ido surgiendo a lo largo del desarrollo del proyecto.

9. **Project summary:** En este apartado se incluirá un resumen en inglés obligatorio el cual se compone de:

- a. Abstract: Resumen de que se ha realizado en el proyecto
- b. Objectives: Exposición de cuales han sido los objetivos que se han buscado durante el proyecto.
- c. Results: Análisis de los resultados que se han obtenido a través de las diferentes pruebas del proyecto.
- d. Conclusions: Exposición de las conclusiones que se han extraído a lo largo del desarrollo del proyecto

2. Marco teórico

2.1 Marco regulador

Para tratar este tema, es necesario conocer las regulaciones legales que tienen que ver con el uso de los drones y en este caso particular, aquellas que tienen que ver con la regulación española, que es el lugar donde se está realizando el proyecto.

Por ello destacaremos aquellos puntos en los que nuestro proyecto debe tener en cuenta la legislación actual y las medidas que deben tomarse con el uso del dron.

2.1.1 Marco legal en España

La legislación actual de España relativa al uso de los drones se puede ver en el **BOE del viernes 29 de diciembre de 2017**, donde se actualiza la ley para que tenga más en cuenta la seguridad de los ciudadanos ante el uso de los drones con respecto a la normativa vigente hasta el momento.

En el caso del estado español, los encargados de regular el uso de drones son la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA).

Sobre la legislación siguiente podemos destacar los siguientes puntos para tener en cuenta acerca de los drones:

- Todos los drones deben ser matriculados de manera que en su estructura llevarán una placa de identificación ignífuga con distintos datos de su procedencia como pueden ser la marca de la nave, el nombre del fabricante, el tipo o el modelo entre otros atributos.

Dicha placa deberá poder verse a simple vista y debe ser legible para que cualquier persona pueda observarlo sin problema. Este método de matriculación será el utilizado para aeronaves que no superen los 25 kg mientras que para aquellas aeronaves que lo superen deberán además de lo especificado anteriormente tenerse en cuenta un par de singularidades.

- El operador que decida conducir el dron deberá recibir un certificado por parte de la AESA y ser un piloto de drones, lo cual, para conseguirlo, deberán tenerse que adquirir los siguientes conocimientos:

- Conocimientos teóricos donde se destacan los siguientes puntos importantes:

- Si el peso de la aeronave no supera los 25 Kg, podrán diferenciarse dos escenarios distintos, si la aeronave vuela dentro del alcance visual del piloto o por el contrario si no lo hace.

- Si el vuelo se realiza dentro del alcance visual del piloto, se deberá obtener un certificado básico para el pilotaje aeronaves por control remoto por la Administración Nacional de la Aviación Civil donde se acreditará que se poseen los conocimientos teóricos como son la normativa aeronáutica, el conocimiento general y específico de las aeronaves, meteorología navegación, procedimientos operacionales, comunicaciones y factores humano para aeronaves por control remoto.

- Si el vuelo fuera dentro del alcance visual, además de obtener la acreditación por la Administración Nacional de la Aviación Civil tras demostrar todo lo especificado en el punto anterior, deberán tenerse conocimientos de comunicaciones avanzadas y de servicios de tránsito aéreo.

- Además, si no se tuviera una licencia de pilotaje deberá acreditarse que el piloto tiene más de 18 años.

- Conocimientos prácticos en los cuales se debe demostrar que se conocen los sistemas que componen la aeronave, además de todo lo relacionado a la misma, como el pilotaje. Este documento puede ser acreditado tanto por el fabricante de la nave que se está pilotando como por una organización de formación (ATO).

- Deberá también de adquirir un certificado médico en vigor de Clase LAPL para aeronaves que no lleguen a los 25 Kg o de Clase 2 para aquellos que superen los 25 Kg.

- De manera añadida se debe contar con un seguro de responsabilidad civil sobre la aeronave pilotada en caso de que hubiera algún percance.

- Además, si la nave a pilotar supera los 25 Kg deberá disponer de lo solicitado con un certificado de aeronavegabilidad y una autorización por la AESA

Todas estas medidas no serán necesarias si el uso de los drones fuera utilizado como un medio recreativo para el uso de drones de un peso menor a

25 Kg donde solo sería necesario que la persona que lo utilice posea conocimientos para poder realizar vuelos de una manera segura.

Además de todas las especificaciones que se le pide a un operador para volar una de estas aeronaves, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- El dron no podrá volar a más de 120 metros de altura ni a más de 100 metros en horizontal respecto al operador.
- Los vuelos deberán realizarse en zonas fuera de aglomeraciones de edificios en ciudades, pueblos o en lugares habitados y siempre dentro del alcance directo de la emisión por radio de la estación de pilotaje a la que se enlace.
- Podrá ser utilizado siempre que las condiciones meteorológicas durante el vuelo sean favorables y deberá encontrarse al menos a más de 8 kilómetros de cualquier aeródromo o helipuerto.
- Para aquellos drones que superen los 2 Kg de peso deberán mantenerse siempre dentro del alcance visual del operador que lo pilote (VLOS, que por sus siglas significa View Line Of Sight), sin embargo para aquellos vuelos que quieran realizarse fuera del alcance visual del operador (BVLOS) deberán tener un peso inferior a 2 Kg, no encontrarse más lejano que la señal que emite la radio a la que se encuentre conectada y deberá encontrarse a más de 15 kilómetros de distancia de un aeropuerto.
- Finalmente, se deberá publicar con carácter previo al vuelo una emisión NOTAM (Notice to Airmen) para indicar al resto de usuarios la utilización del espacio aéreo con carácter temporal indicando el motivo del vuelo. De la misma manera deberá poder localizarse correctamente el vehículo en cualquier momento del vuelo. [4]

2.1.2 Impacto socioeconómico en la sociedad

Como se ha venido hablando hasta este punto, la utilización de los drones cada vez está siendo un campo más conocido y comercializado con muchas aplicaciones en los diferentes sectores y es por ello por lo que poco a poco el mercado se expande y va teniendo más demanda.

Dentro del territorio español, a mediados de 2017, la Agencia Estatal de seguridad Aérea confirmaba que el número de operadores registrados era de 2104 operadores que pueden volar aeronaves no superiores a 25 Kg. Con

estas cifras puede comprobarse el aumento de operadores en relación con inicios de 2016, donde el número de operadores registrados era de 1005. Se sabe que, contando el total de operadores registrados, teniendo en cuenta la regulación de las aeronaves mayores y menores a 25 Kg, se cuenta con más de 3000 unidades. Esto se ha debido a que la mayor parte de estos operadores son empresas las cuales han observado las características que los drones pueden aportar a sus negocios y apuestan por la innovación. [5]

Aun con estos buenos crecimientos en el territorio español, podemos observar cómo en relación con EE. UU. que son los que lideran el mercado de los drones los cuales tuvieron un aumento en las ventas de un 117% en relación con el mismo mes del 2016, en el cual se compraron 2.8 millones de unidades. España está lejos de alcanzar esos datos, pero mantiene buenas subidas en proporción. [6]

Si tenemos en cuenta el aspecto económico de todo este mercado en los distintos sectores, se habla según el informe realizado por “PwC” que el valor total que se podía generar para el año 2017 sería superior a 127.000 millones de dólares.

Teniendo en cuenta estos datos y cómo en este tiempo de auge del mercado de los drones los beneficios están siendo tan positivos, todo lleva a buenos futuros años donde se podrán introducir los drones en nuevos oficios con nuevas funcionalidades.

3. Estado del arte

3.1 Definición de dron

Un dron en el contexto tecnológico es una nave no tripulada. Son más formalmente conocidos como vehículos aéreos no tripulados (VANT) o sistemas de aeronaves no tripuladas (UASes).

Un dron es un robot volador que puede ser controlado de manera remota o que puede volar autónomamente a través de planes de vuelo, los cuales funcionan gracias al GPS y los sensores de abordo (que será el tipo de dron utilizado en la realización de este trabajo).

Al principio, los drones solo tenían utilidad en el campo militar, donde eran utilizados para la recolección de información o prácticas de tiro antiaéreo entre otras cualidades. El primer dron utilizado de manera más general fue el conocido como “Queen Bee”, el cual era un dron biplano que podía ser conducido en el asiento de delante y que iba equipado con una radio en la parte trasera. Este dron era utilizado como entrenamiento de disparo para la artillería.

Durante toda la historia, el uso de drones se ha centrado en el ámbito militar y no ha sido hasta finales del siglo XX, y sobre todo durante este siglo, donde se ha podido observar cómo podrían existir más funcionalidades para los drones. Por ejemplo, en 2012, Chris Anderson, editor jefe en la revista “Wired”, decidió dejar su trabajo y centrarse en su empresa de drones especializados en drones personales que actualmente se utilizan en el mundo de la fotografía, las películas, la construcción, el mundo de las telecomunicaciones y la seguridad de las compañías.

Tendremos que tener en cuenta que dentro del mundo de la aviación se denomina aeronave no tripulada a aquellas naves sin especificar si son pilotadas o no. Dentro de esa definición, dependiendo de si hay un piloto remoto o no, se puede diferenciar entre aeronaves tripuladas por control remoto (RPA, Remotely Piloted Aircraft) y aeronaves autónomas.

3.2 Clasificación de drones

Dentro del mundo de los drones conoceremos su distinta clasificación y los tipos existentes:

Dentro de los drones los dividiremos según sus métodos de generación de sustentación, de los cuales nos centraremos en el grupo de los aerodinos conociendo el tipo de sus alas y por otra parte los dividiremos según la aplicación que pueden desempeñar centrándonos en los drones civiles y los drones militares.

- **Drones según los métodos de generación de la sustentación:**

Dentro de este criterio de clasificación podremos dividir los drones en dos grandes grupos: los aerodinos, que son aquellas aeronaves que son más pesadas que el aire, y los aerostatos, que son aquellos cuya suspensión en el aire se consigue con un gas más ligero que el aire.



Puesto que los tipos de drones actualmente más utilizados son los aerodinos, gracias a que sus características los hacen más útiles para una diversa gama de aplicaciones, nos centraremos sobre este grupo.

Dentro del grupo de los aerodinos podremos diferenciar 3 tipos distintos de ellos según el tipo de ala que tienen:

- **Drones de ala fija:** este tipo de drones se caracteriza por la unión de sus alas al resto de la aeronave y por no poseer movimiento propio. Este tipo de aeronaves genera la sustentación de la nave por sus planos. En este caso están diseñados para crear una diferencia de presión entre su parte inferior (intradós) y su parte superior (extradós).

En conjunto, este tipo de aeronaves tienen un alto rendimiento energético, pero requieren de infraestructuras externas para poder despegar o aterrizar lo cual hace más complejo los vuelos que se realicen, además de que debido a su

baja maniobrabilidad, este tipo de aeronaves no podrá ser utilizado en espacios muy complejos.

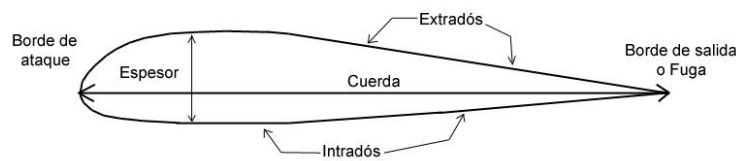


Ilustración 4: explicación de drones de ala fija. [35]

Explicación de drones de ala fija

Dependiendo de donde se ubiquen las alas podremos encontrar los siguientes subgrupos:

- Ala alta: tienen las alas ubicadas por encima del fuselaje, tienen una alta estabilidad, pero, en consecuencia, una baja maniobrabilidad.



- Ala media: tienen las alas ubicadas en la parte central del fuselaje, a diferencia del ala alta tiene una igualdad entre su estabilidad y su maniobrabilidad.



- Ala baja: tienen las alas ubicadas en la parte inferior del fuselaje lo cual les facilita el poder maniobrar.



- Ala volante: las alas ocupan la mayor parte del fuselaje y aunque estas aeronaves presentan baja resistencia aerodinámica tienen una gran capacidad de maniobrabilidad.



- **Drones de ala rotatoria:** este tipo de drones se caracteriza porque las alas en este caso son denominadas palas que giran alrededor de un eje, consiguiendo así que se mantenga en el aire. Dependiendo del número de rotores que tenga o de la configuración de los mismos, los drones de ala rotatoria pueden dividirse en los siguientes subgrupos:

- Aeronaves con un rotor principal y un rotor de cola: este tipo de drones se mantiene gracias al rotor principal, el cual se sitúa en la parte superior de la aeronave, mientras que el rotor de cola se sitúa en la parte trasera de la misma

contrarrestando el par de torsión que el rotor principal produce. Tienen una buena capacidad de control y maniobrabilidad, pero a su vez esto los hace que tengan una estructura más compleja.



Ilustración 9: aeronave rotor principal y rotor de cola. [28]

- Aeronaves con un único rotor: este tipo de drones solo posee un rotor para generar la sustentación. Tiene una estructura relativamente sencilla, pero esto hace que sea difícil de controlar.

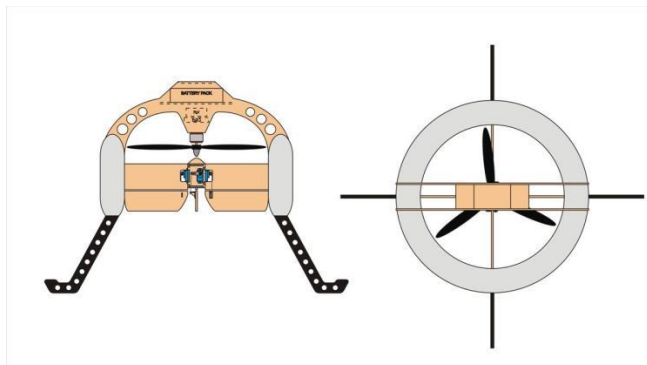


Ilustración 10: aeronaves con único rotor. [25]

- Aeronaves con dos rotores en configuración coaxial: este tipo de drones posee dos rotores uno encima de otro, donde cada rotor gira en la dirección contraria al otro consiguiendo emprender el vuelo por la diferencia de velocidades entre ellos. Dicha configuración permite que la aeronave sea compacta, pero como desventaja se puede destacar la energía que se pierde por los rotores entre ellos.



Ilustración 11: aeronave dos motores en configuración coaxial. [30]

- Aeronaves con dos rotores en configuración tándem: este tipo de drones posee en la parte superior dos rotores en forma de tándem. Al igual que con los dos rotores en configuración coaxial, giran en direcciones opuestas para neutralizar el torque. El mayor problema que tienen estos drones es su estructura extremadamente compleja.



Ilustración 12: aeronaves con dos motores en configuración tándem. [32]

- Aeronaves multirotor: este tipo de drones de ala rotatoria poseen tres o más rotores. Sobre esas características se selecciona la configuración pudiendo obtener diferentes tipos yendo desde tricópteros a cuadricópteros llegando a configuraciones de octocópteros. Las hélices de estas aeronaves se instalan de manera que rote de forma opuesta diametral, es decir, que las hélices de giro hacia un lado y su opuesto generan en conjunto fuerza nula. Se podrán diferenciar diferentes casos con sus velocidades, ya que, si todos los rotores

generan la misma fuerza, el dron se mantendrá en una posición estable, mientras que, si uno de los rotores presenta mayor o menor velocidad angular al resto, la aeronave se moverá. Este tipo de naves tienen una configuración sencilla y son versátiles, lo cual hace que sean la opción más popular para uso civil.

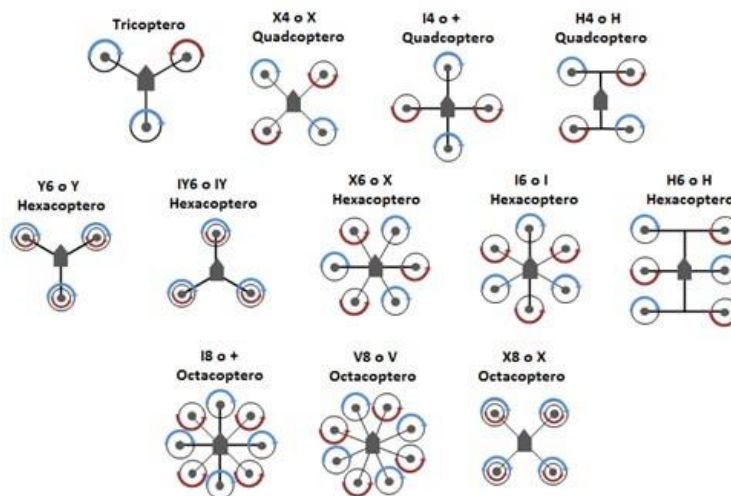


Ilustración 13: configuraciones en drones multirotor. [29]

En este proyecto, hemos decidido emplear un dron multirotor de cuatro hélices (cuadricóptero) configurados en X. Se ha elegido este tipo de dron por sus características frente al resto, ya que es fácil de manejar a la hora de realizar las pruebas sobre el terreno. Es un sistema modular donde las piezas pueden cambiarse de manera sencilla, permite una duración del vuelo buena y es estable, lo cual para nuestro proyecto es una de las cualidades más necesarias para obtener una buena medición por sus sensores. [7] [8] [9]

3.3 Funcionamiento de drones multirotor

A la hora del movimiento podremos observar, como explicamos anteriormente, cómo dependiendo de su velocidad en las hélices, se pueden aplicar unos movimientos u otros. Nos centraremos en esa parte más en profundidad para conocer el funcionamiento completo de este tipo de aeronaves.

Dentro de los movimientos y estacionamientos dependientes de la velocidad angular de las hélices, también podemos observar cómo, si deseáramos girar sobre los distintos ejes, realizaremos un el Roll, Pitch o Yaw, que en español quieren decir el alabeo, cabeceo y guiñada, dependiendo del

eje sobre el que queramos movernos con el dron. Por lo tanto, para girar sobre los distintos ejes se deben cumplir las siguientes características:

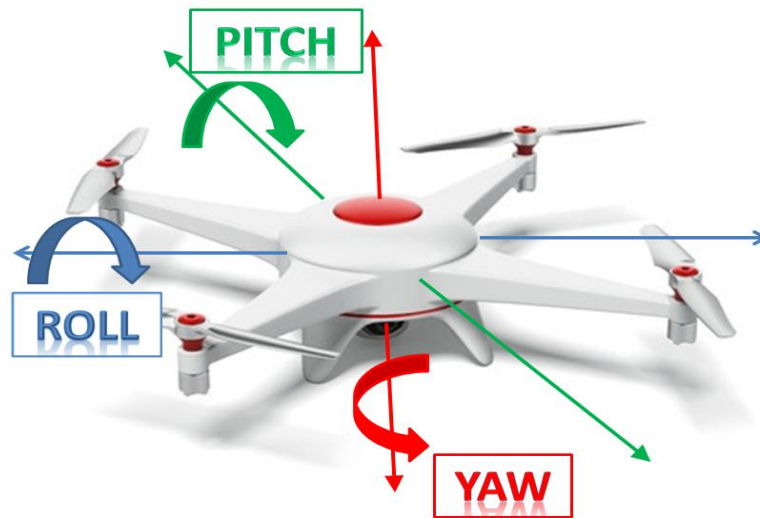


Ilustración 14: movimientos de los ejes de un dron. [27]

- Giro sobre el eje X: si queremos que el dron gire sobre el eje X, se estará realizando un movimiento de alabeo o roll en el cual los rotores de uno de los lados deberán decelerar mientras que los del otro deberán acelerar para que de esta manera, el dron realice un movimiento lateral hacia la izquierda o hacia la derecha.

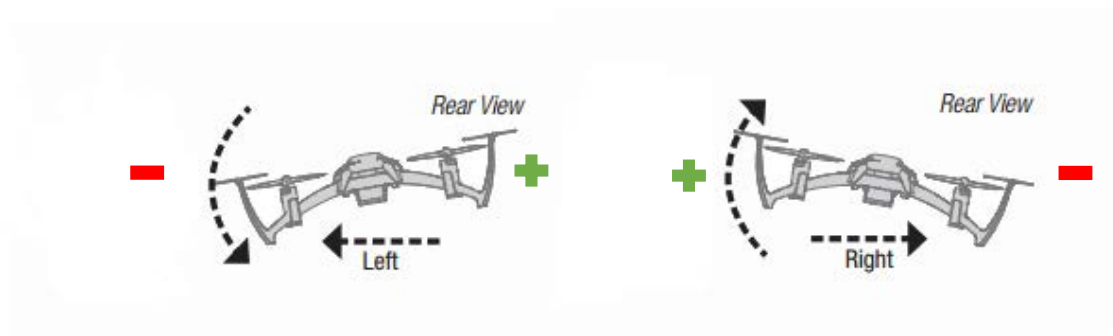


Ilustración 15: movimiento del roll. [39]

- Giro sobre el eje y: si queremos que el dron gire sobre el eje Y, se estará realizando un movimiento de cabeceo o pitch, en el cual los motores delanteros deberán acelerar mientras que los traseros deberán desacelerar para realizar un movimiento hacia arriba, mientras que si ocurre el caso contrario el movimiento será hacia abajo.

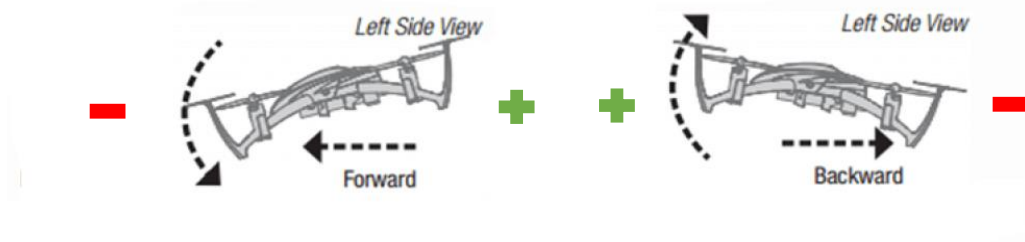


Ilustración 16: movimiento del pitch. [39]

- **Giro sobre el eje Z:** si queremos realizar un giro sobre el eje Z, se estará realizando un movimiento de guiñada o Yaw, en el cual los motores opuestos en diagonal deberán acelerar mientras que el resto deberán desacelerar, lo que hará que el dron gire según la diagonal escogida para acelerar.

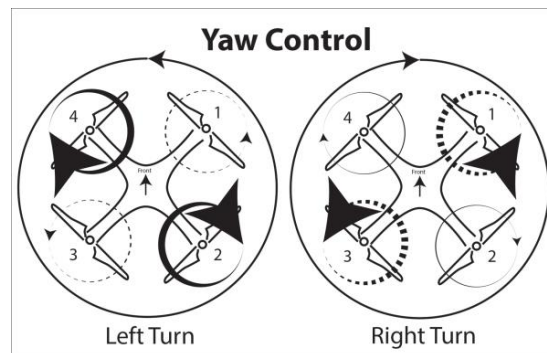


Ilustración 17: movimiento del yaw. [26]

- **Drones híbridos:** este tipo de drones se caracterizan por ser capaces de realizar el despegue y el aterrizaje de manera vertical como los drones de ala rotatoria pero también de realizar vuelos a alta velocidad como los drones de ala fija.

Para ello este tipo de drones son robustos ante fallos inesperados gracias a la redundancia de mecanismos de sustentación, pero esto hace que tengan una estructura de control y mecánica compleja. Por ello, actualmente en el mercado no se encuentran muchos modelos de drones de este tipo y, aquellos en el mercado, tienen un precio muy elevado.



Ilustración 18: dron híbrido. [31]

- **Drones según su aplicación**

Por último, sobre su clasificación por aplicación observaremos que existen dos grandes grupos en los cuales podremos dividir a los drones:

- **Drones de uso Civil:** este tipo de clasificación surgió tras comprobar la utilidad de los drones en el campo militar. La sociedad observó que los drones podrían ser muy útiles en la sociedad teniendo en cuenta un conjunto de aplicaciones en los que puede ser aplicado. Entre este tipo de aplicaciones se incluyen aquellos aficionados que lo usan por divertimento o los profesionales los cuales lo utilizan para labores de tipo comercial. Entre su rango de aplicaciones algunas a destacar son las siguientes:

- Filmación de imágenes y vídeos aéreos para publicidad: esta modalidad es actualmente una de las más utilizadas dentro del entorno de los drones civiles. Se utiliza sobre todo para grabaciones de calidad con la cámara y posterior edición y generación de dichos recursos. Actualmente la filmación de eventos deportivos y bodas es lo que destaca en este sector.

- Cartografía: dentro de este rango de aplicaciones se centran la creación de mapas geográficos de distintas zonas para el estudio de los terrenos. También se utiliza dentro del entorno arqueológico e inmobiliario. Por todo ello la demanda sobre este sector está aumentando de manera progresiva.

- Emergencias: Organizaciones como Salvamento Marítimo están empezando a utilizarlos ya que les permite llegar de una manera más efectiva a la zona de la catástrofe, además de poder utilizarlo con fines médicos para que llegue de una manera rápida y efectiva a la zona de un accidente.

Otras funciones que podemos destacar son:

- Logística.
- Seguridad.

- Recreativo.
- Agricultura.

- **Drones de uso militar:** este segundo grupo fue el que inició toda la revolución de los drones, en primer lugar, gracias a las aplicaciones militares que se descubrieron cuando se empezó a investigar con ellos para su posterior uso en la guerra. Se asentaron posibles aplicaciones en las que podría influir el uso de drones. Actualmente podemos identificar las siguientes aplicaciones:

- Vigilancia, inteligencia y reconocimiento: dentro de este campo pueden ser utilizados en zonas donde se necesite recabar información necesaria para realizar su misión o en vigilancia para proteger zonas gracias a sus sensores.
- Como blanco de práctica: este método se utiliza mucho para la práctica de la artillería donde se practica tiro hacia los drones.
- Misiones de ataque: como es lógico, estos drones pueden llevar diferentes armas como bombas o ametralladoras, con las cuales hacen de los drones un elemento fundamental en las guerras para personal humano que utilizar en ellas. De la misma manera podrían llevar inhibidores de frecuencia para inutilizar la tecnología enemiga en un ataque. [10]

3.3.1 Funcionamiento de drones multirotor

Una vez conocidos los drones en conjunto y sus diferentes tipos y aplicaciones posibles, nos centraremos en el dron utilizado en este proyecto junto a sus sensores para las pruebas a realizar.

En este caso, el dron utilizado para este proyecto utiliza un Pixhawk que es un microprocesador con autopiloto, sensores embarcados e interfaces para conectar otros sensores, como en nuestro caso se hará con el LIDAR, este Pixhawk utilizará el software Pixhawk 4 para poder guardar las ratios de cambio de dirección, la altura a la que se encuentra el dron y la altura del terreno sobre el que está pasando entre otros. Todos ellos sirven como fuentes de datos.

Los sensores de los que se compone el dron son los siguientes:

Sensor	Tipo	Ejes	Escala	ADC	Flujo de datos
L3GD20H	Giroscopio	3	2000dps	16bits	760Hz
LSM303D	Acelerómetro/magnetómetro	6	$\pm 16g/\pm 2\text{gauss}$	16bits	1600Hz/100Hz
MPU-6000	Acelerómetro/giroscopio	6	$\pm 16g/2000\text{dps}$	16bits	1000Hz/8000Hz
MS5611	Barómetro	1	1200mbar	24bits	1000Hz

Tabla 1: sensores de los que se compone el Pixhawk. [11][12][13][14]

Además de los componentes del Pixhawk, la aeronave cuenta con otros dispositivos que aumentan sus capacidades de obtención de datos más fiables. Entre ellos se pueden encontrar los siguientes componentes:

Sensor	Tipo	Interfaz	Rango	Fiabilidad	Envío de datos
Ublox Neo 6M	GPS	Puerto GPS		2.5m	< 3s
HMC5883	Magnetómetro	I2C	$\pm 16G$	$\pm 12MG$	1600Hz
Flow sensor shield	Giroscopio	I2C		< 0.5m	250HZ
LIDAR Lite	LIDAR	I2C	0-40 m	$\pm 2.5\text{cm}$	1-500Hz

Tabla 2: sensores añadidos al dron.

Como se puede observar en las tablas, el flujo de datos de todos los componentes es muy bajo para poder tener así una gran cantidad de datos a lo largo de las misiones que se realizan, siendo el más lento en proporcionar datos el GPS.

Además, si nos fijamos en la fiabilidad de los distintos componentes, podremos observar como el más impreciso es el proporcionado por el GPS mientras que los datos más precisos son aquellos dados por el sonar seguidos por los del LIDAR.

Con todos estos sensores el dron utilizado para nuestro proyecto sería de la manera representada en la ilustración número 19.

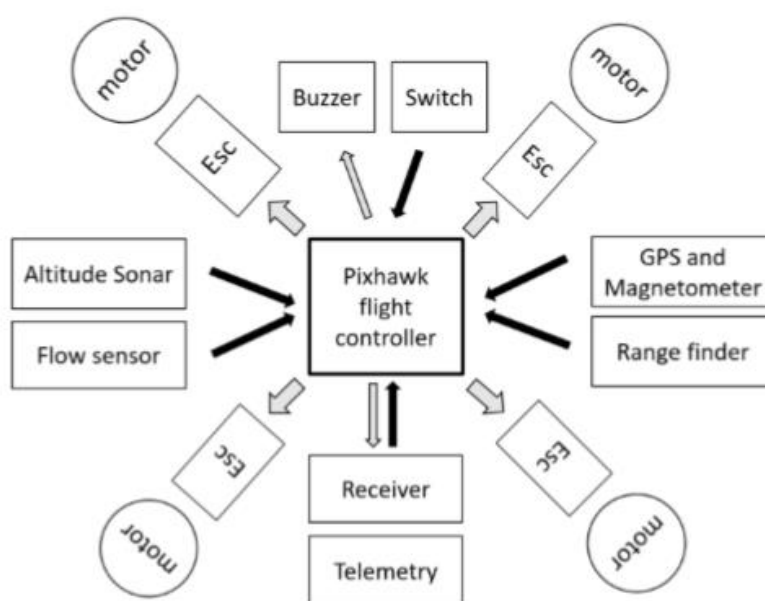


Ilustración 19: forma general del dron con los sensores. [38]

3.4 Tecnologías utilizadas durante el proyecto

En este apartado trataremos cuáles han sido las tecnologías usadas para la realización de este proyecto, desde los programas de utilización del dron, hasta el programa de representación de datos y programas auxiliares para conocer la fiabilidad de los datos recibidos en comparación a la realidad.

- **Pixhawk:** esta es una herramienta open hardware que destaca por su disponibilidad al momento, alta calidad, alta customización y flexibilidad en los periféricos que se pueden añadir al vehículo. Es una herramienta orientada al entorno académico y de hobby en la industria.

Esta herramienta se utiliza como núcleo donde se conectan los distintos componentes como son la CPU y los sensores con sus conexiones correspondientes. Es una herramienta sencilla que no necesita mucho conocimiento previo gracias a que sus conexiones con la interfaz a utilizar se encuentran con el programa QGroundControl y el controlador que se puede usar no depende tanto del Pixhawk si no que suele ser una restricción del vehículo más que de la versión sobre la que tratan estos programas.

El proyecto de Pixhawk se ha creado con diseño y esquemas distintos y todos ellos deben mantener la compatibilidad para que puedan ser utilizados por el mismo firmware. Por ello, cada diseño creado en Pixhawk está nombrado FMUvX donde la X representará el número de versión correspondiente. Como en el resto de las herramientas, cuanto mayor es el número de versión más reciente es, pero no quiere decir que tenga una mayor capacidad, ya que entre las versiones serán prácticamente iguales exceptuando el cableado donde diferencia unas con otras.

En este proyecto de investigación se utiliza Pixhawk 4, que está preparado para el ámbito académico. Sobre este Pixhawk 4 lo primero que hay que realizar son las conexiones en los pines con los sensores que se utilizan sobre nuestro dron, además del módulo GPS y la radio para la telemetría. Una vez adjuntados los distintos componentes sobre el Pixhawk se deberán configurar para que su colocación se encuentre en el punto exacto y la fiabilidad de los datos sea la mayor posible. [16][17][18]



Ilustración 20: Pixhawk 4. [18]

- **QGroundControl:** este programa ha sido utilizado gracias al control del vuelo en el uso de las misiones y preparado para vehículos que utilizan PX4. Su utilización es sencilla para principiantes, a la vez que completa para las distintas funcionalidades que se exige.

Este programa permite realizar funciones a partir de puntos de apoyo que se utilizan en el mapa, de manera que le debes indicar cuál será el punto inicial sobre el que desea partir, los puntos sobre los que desea pasar y finalmente dónde debe aterrizar. Además, sobre estos puntos puedes indicar cuál es la distancia al suelo sobre la que quieres que vuele, siendo variable en cada punto por si fuera necesario.

Una vez creada y ejecutada la misión, puedes observar en el mapa que tiene como interfaz en tiempo real dónde se encuentra tu aeronave y el trayecto que está siguiendo, además del tiempo que lleva ejecutando la misión y el tiempo restante para su finalización.

Durante todo el vuelo se mantiene un control de la aeronave que se está pilotando, indicándote si existiera algún problema de calibración durante el vuelo o una batería baja que hiciera que la misión se parase y aterrizara el dron. El problema que se puede encontrar en este programa es que, aunque encuentre una anomalía en la aeronave, no interrumpirá la misión de manera automática, sino que tendrá que ser el operador de la nave quien pase a modo manual y aterrice la nave para saber qué le ha ocurrido.

Con todo ello, esta plataforma permite realizar misiones tan complejas como quiera el usuario o le da funciones de gran utilidad para conocer un terreno como es la misión de vigilancia o la de escaneo de una estructura, ambas personalizables a lo que el usuario busque realizar como misión. [15]

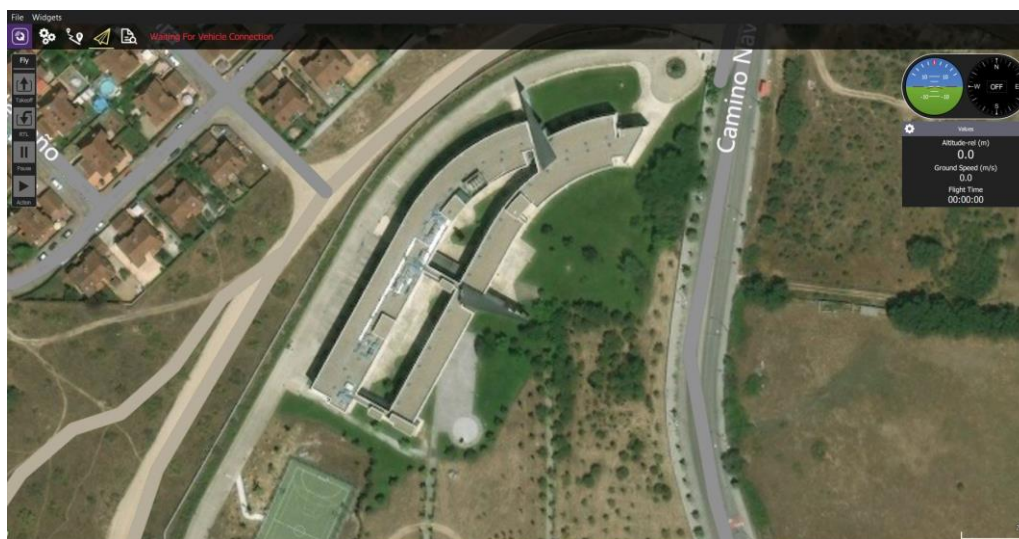


Ilustración 21: QGroundControl.

Python: este entorno de desarrollo ha sido utilizado para realizar la conversión de los datos que se generan de los sensores en formato .ulg a .csv.

Excel: esta herramienta ha sido utilizada para la transformación de los datos obtenidos gracias al script utilizado en Python en un formato más apropiado para su utilización en la herramienta Matlab.

Matlab: esta herramienta ha sido utilizada para la creación de las gráficas que posteriormente se mostrarán en las pruebas. Se ha creado un script para hacer el proceso de análisis más automatizado y así poder comprobar las diferentes misiones de una manera rápida y directa.

3.5 Antecedentes al proyecto y posible software alternativos

En este apartado destacaremos posibles alternativas a la manera de obtener la altimetría del suelo, en este caso se mostrarán otros programas que realizan lo mismo que los que se aplican en este proyecto y las razones por las que no se han utilizado.

En primer lugar, el software Pix4Mapper. Este software genera una imagen con la altimetría del suelo por colores según su profundidad, además de mostrar como una nube de puntos el terreno que se está investigando y mucha información correspondiente al terreno sobre el que se realiza la generación de la altura del suelo. Esta herramienta, aunque muy útil, no ha podido ser utilizada en el proyecto puesto que utiliza imágenes obtenidas a través de una cámara ubicada en el dron y en el este caso el dron con el que se realizó el proyecto no contaba con ninguna y por tanto no pudo ser utilizado teniendo tanto potencial.

[34]

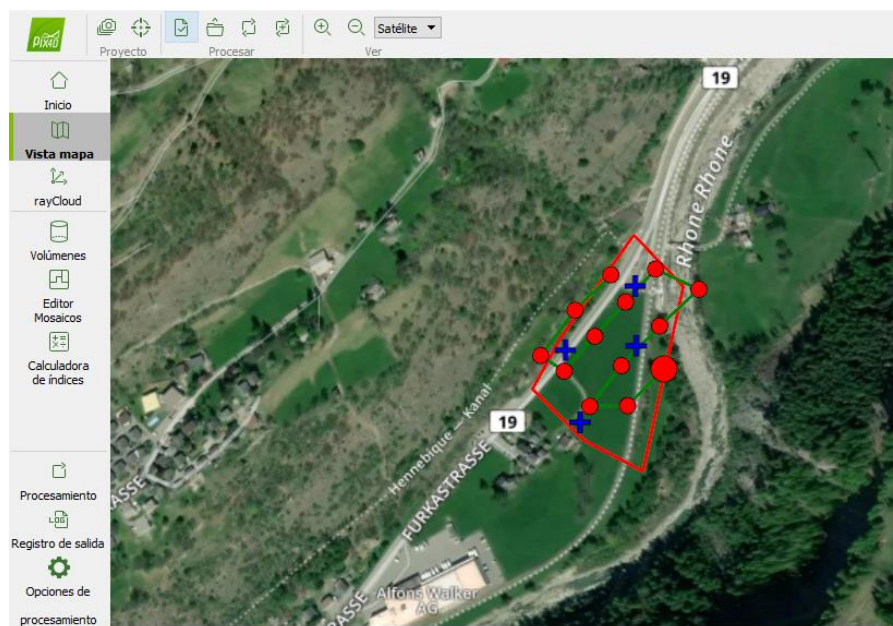


Ilustración 22: ejemplo del software PX4Mapper.

Para la otra posible herramienta para utilizar en este proyecto, realiza la obtención de la altimetría del suelo gracias al método de la triangulación de Delaunay. Esta triangulación lo que realiza es un terreno donde va cogiendo cada punto y creando un terreno de triángulos que reflejan la altura del suelo de una manera muy cercana a la realidad. En el caso de este proyecto, este método se intentó aplicar, pero puesto que no se obtienen puntos consecutivos de una zona determinada si no que se busca el reconocimiento de una zona por unas partes determinadas, cuando se aplicaba este método el resultado no reflejaba el terreno de la manera que debería y por tanto no explicaba de ninguna manera los objetivos cumplidos como han hechos otras gráficas explicadas más adelante en el capítulo de pruebas. [24]

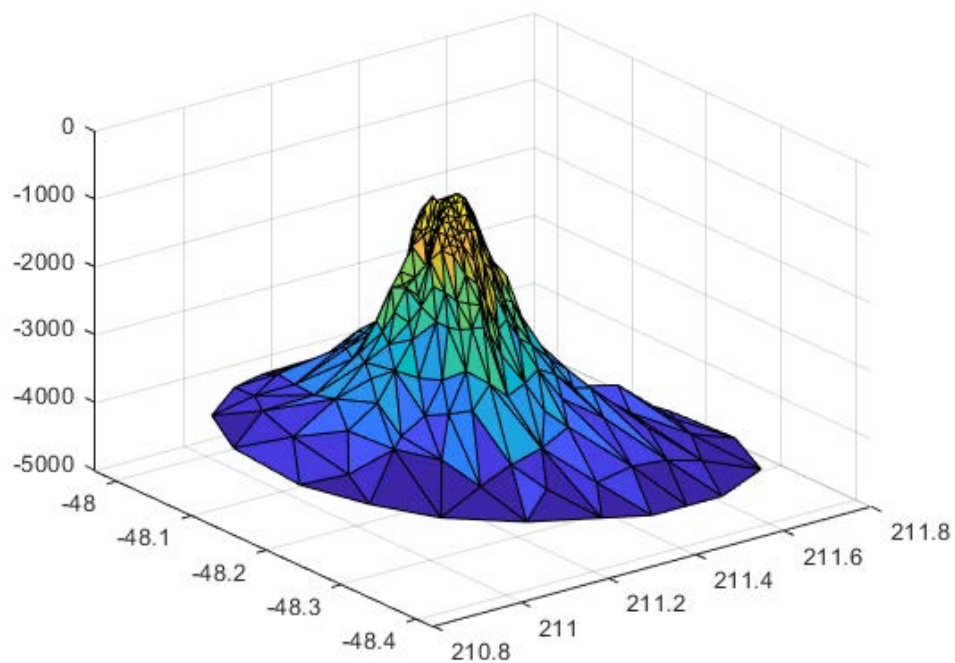


Ilustración 23: ejemplo de triangulación Delaunay [24]

4. Gestión del proyecto

En este apartado se va a mostrar la planificación que se ha seguido desde que se comenzó este, describiendo todas las tareas por las que se ha pasado hasta su finalización, mostrando el diagrama correspondiente a dichas tareas.

Más adelante, se hablará de los requisitos de los que se compone este proyecto y la viabilidad de este teniendo en cuenta lo que se pide.

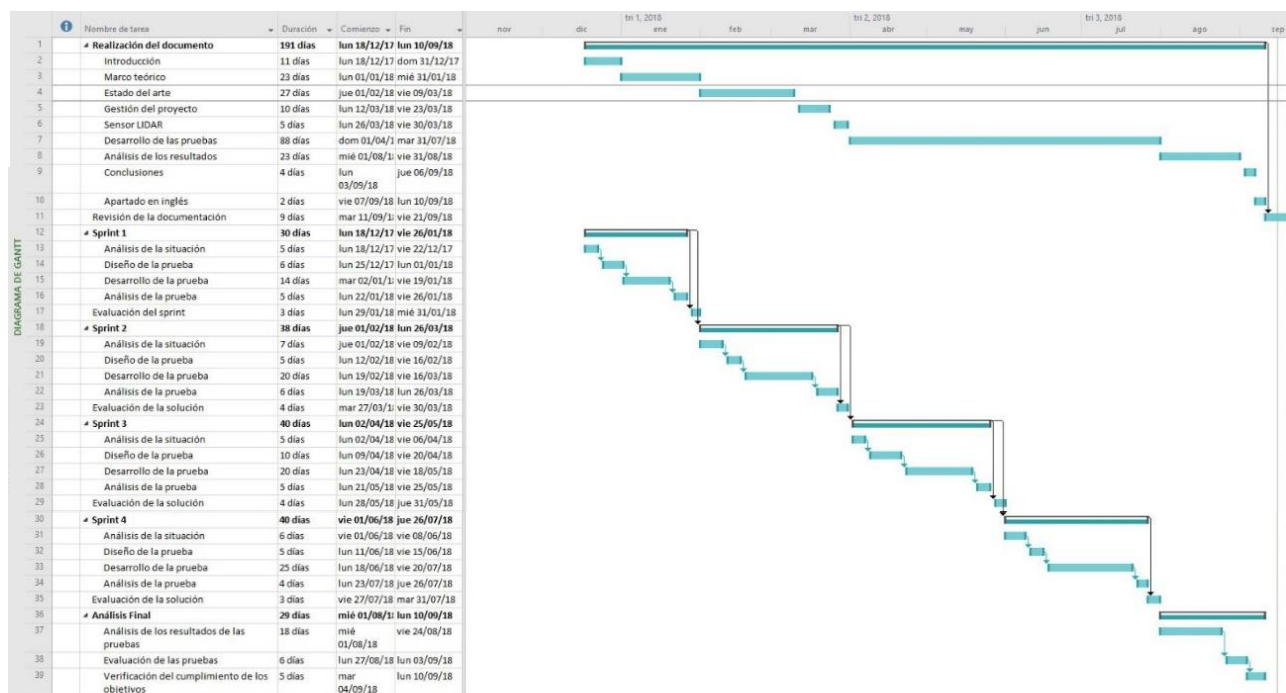
4.1 Planificación temporal y Gantt

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
Realización del documento	191 días	lun 18/12/17	lun 10/09/18
Introducción	11 días	lun 18/12/17	dom 31/12/17
Marco teórico	23 días	lun 01/01/18	mié 31/01/18
Estado del arte	27 días	jue 01/02/18	vie 09/03/18
Gestión del proyecto	10 días	lun 12/03/18	vie 23/03/18
Sensor LIDAR	5 días	lun 26/03/18	vie 30/03/18
Desarrollo de las pruebas	88 días	dom 01/04/18	mar 31/07/18
Análisis de los resultados	23 días	mié 01/08/18	vie 31/08/18
Conclusiones	4 días	lun 03/09/18	jue 06/09/18
Apartado en inglés	2 días	vie 07/09/18	lun 10/09/18
Revisión de la documentación	9 días	mar 11/09/18	vie 21/09/18

Sprint 1	30 días	lun 18/12/17	vie 26/01/18
Análisis de la situación	5 días	lun 18/12/17	vie 22/12/17
Diseño de la prueba	6 días	lun 25/12/17	lun 01/01/18
Desarrollo de la prueba	14 días	mar 02/01/18	vie 19/01/18
Análisis de la prueba	5 días	lun 22/01/18	vie 26/01/18
Evaluación del sprint	3 días	lun 29/01/18	mié 31/01/18
Sprint 2	38 días	jue 01/02/18	lun 26/03/18
Análisis de la situación	7 días	jue 01/02/18	vie 09/02/18
Diseño de la prueba	5 días	lun 12/02/18	vie 16/02/18
Desarrollo de la prueba	20 días	lun 19/02/18	vie 16/03/18
Análisis de la prueba	6 días	lun 19/03/18	lun 26/03/18
Evaluación de la solución	4 días	mar 27/03/18	vie 30/03/18
Sprint 3	40 días	lun 02/04/18	vie 25/05/18
Análisis de la situación	5 días	lun 02/04/18	vie 06/04/18
Diseño de la prueba	10 días	lun 09/04/18	vie 20/04/18
Desarrollo de la prueba	20 días	lun 23/04/18	vie 18/05/18
Análisis de la prueba	5 días	lun 21/05/18	vie 25/05/18
Evaluación de la solución	4 días	lun 28/05/18	jue 31/05/18

Sprint 4	40 días	vie 01/06/18	jue 26/07/18
Análisis de la situación	6 días	vie 01/06/18	vie 08/06/18
Diseño de la prueba	5 días	lun 11/06/18	vie 15/06/18
Desarrollo de la prueba	25 días	lun 18/06/18	vie 20/07/18
Análisis de la prueba	4 días	lun 23/07/18	jue 26/07/18
Evaluación de la solución	3 días	vie 27/07/18	mar 31/07/18
Análisis Final	29 días	mié 01/08/18	lun 10/09/18
Análisis de los resultados de las pruebas	18 días	mié 01/08/18	vie 24/08/18
Evaluación de las pruebas	6 días	lun 27/08/18	lun 03/09/18
Verificación del cumplimiento de los objetivos	5 días	mar 04/09/18	lun 10/09/18

Tabla 3: planificación temporal



4.2 Presupuesto

En este apartado se va a exponer de forma detallada cuales son los presupuestos necesarios para la realización del proyecto que se está realizando. Para ello, este presupuesto se ha realizado siguiendo la planificación inicial explicada anteriormente.

Para ello deberemos tener en cuenta que, por tiempo de trabajo diario en el proyecto, se realizará una jornada en función de su puesto de trabajo, mostrada en la siguiente tabla.

Puesto de trabajo	Nº de horas al día
Jefe de proyecto	1
Analista	2
Programador	1
Encargado de la documentación	1
Gestión de calidad y pruebas	1

Tabla 4: trabajo por cada rol.

Como se puede observar, el número de horas realizadas por los miembros del proyecto son reducidas gracias a la temprana realización del proyecto y su extensión a lo largo del tiempo.

En primer lugar, especificaremos el equipo que es necesario para la realización de este proyecto. Habrá un total de 5 puestos en total que son:

1º Jefe de proyecto: este puesto estará ocupado por Jesús García Herrero y Francisco López Cabrero. Su función principal será intentar guiar al equipo durante el proyecto para que vaya avanzando de manera favorable y llegando a unas conclusiones teniendo en cuenta todo el proceso realizado.

2º Analista: este puesto estará ocupado por Francisco López Cabrero. Su función principal será la de ser el encargado de conocer en profundidad los sensores de los que se compone y sobre ellos qué medidas son necesarias para

que las pruebas sean lo más rigurosas y determinantes posibles en la búsqueda de una solución.

3º Gestor de calidad y pruebas: este puesto estará ocupado por Francisco López Cabrero. Su función principal será la de realizar las pruebas más completas posibles, contemplando todos los posibles terrenos donde se pudiera obtener información distinta y relevante para la investigación y por tanto pruebas de calidad donde en cada una de ellas se deba explicar algo distinto y necesario para el proyecto.

4º Encargado de la documentación: este puesto estará ocupado por Francisco López Cabrero. Su función principal será la de realizar un documento completo teniendo en cuenta todo el trabajo que se ha realizado desde cómo se pensó la idea de realizar este trabajo de investigación, pasando por todo el proceso previo de investigación del tema elegido incluyendo la planificación del proyecto, las pruebas que se han realizado durante todo el proyecto y cuáles son los análisis que se pueden sacar al respecto y por último, las conclusiones que se pueden determinar de dichas pruebas y posibles ideas de mejora para futuros proyectos relacionados con el tema que se está tratando.

5º Programador: este puesto estará ocupado por Francisco López Cabrero. Su función principal será la creación de scripts para la automatización de las gráficas realizadas en Matlab y la conversión de los datos de los sensores a formato delimitado por comas.

La obtención del salario ha sido a través del Boletín Oficial del Estado (BOE) en su publicación el martes 6 de marzo de 2018 donde se reflejan los salarios de los distintos cargos.

Nuevo Sistema de Clasificación Profesional			Equivalencia con las categorías del anterior convenio solo a efectos de trasposición	Salarios Nuevo Convenio antes de incrementos		
Area de Actividad	Grupo	Nivel		Salario Base	Plus Convenio	Salario Total
AREA 3: Consultoría, Desarrollo y sistemas	A			23.362,50	1.637,50	25.000,00
	B	I		22.673,75	1.576,25	24.250,00
	B	II	Analista; Analista de sistemas (Grupo III)	21.969,50	1.536,22	23.505,72
	C	I	Analista programador; Diseñador pagina web (Grupo III)	21.555,66	1.438,08	22.993,74
	C	II		20.091,75	1.408,25	21.500,00
	C	III		18.222,75	1.277,25	19.500,00
	D	I	Programador senior; Jefe de Operación, Programador en Internet (Grupo III)	15.442,56	1.089,20	16.531,76
	D	II	Deliniante-proyectista (Grupo III)	14.295,54	998,48	15.294,02
	D	III		14.013,90	986,10	15.000,00
	E	I	Programador junior; Técnico de mantenimiento web; Operador de ordenador (Grupo III)	13.827,66	973,00	14.800,66
	E	II	Administrador de Test (Grupo III)	11.773,15	828,39	12.601,54
	E	II	Tabulador de Ordenador.....Operador de periféricos (Grupo IV)			
	E	III	Codificador informático, Perforista, Verificador, Clasificador y Grabador (Grupo IV)	9.811,06	687,26	10.498,32
	E	III	Calculador (Grupo IV)	9.644,85	675,30	10.320,15

Ilustración 25: publicación del BOE de sueldos 2018[20]

En el artículo 20 del BOE se especifica que la jornada máxima de trabajo a realizar son 1800 horas y como según el nivel que se desempeñe el salario de ese puesto es variable.

Por tanto, asignando cada uno de los puestos a los cargos del proyecto se obtendrán el coste por hora de cada componente que se expresa en la siguiente tabla.

Para la realización de la siguiente tabla se especificará, además del puesto que desempeña y su sueldo por hora, el número de horas que realizará sobre el proyecto y por tanto su coste total.

Puesto de trabajo	Puesto a desempeñar	Coste x hora	Horas de proyecto	Sueldo total
Jefe de Proyecto	B-1	10,35	191	1976,85
Analista	B-2	9,83	76	747,08
Gestor de calidad y pruebas	C-1	6,6	105	693
Encargado de la documentación	D-3	9,6	182	1747,2
Programador	E-1	6,6	20	132
Total:				5296,13

Tabla 5: sueldo del equipo de proyecto.

Dentro de la tabla especificada anteriormente, deberemos contar con que habrá tareas que se realicen a la vez que otra, como es la documentación del documento mientras se va realizando el análisis del proyecto con lo descubierto y por tanto se distribuirá de manera equitativa la jornada laboral entre las tareas a realizar en ese momento.

Además de los costes del equipo de trabajo, también tendremos que tener en cuenta riesgos como el posible despido de alguno de ellos durante el proyecto. Aunque se han seleccionado los salarios base de los puestos elegidos, finalmente esos costes pueden variar según el acuerdo entre la empresa y el trabajador que va a realizar dicho puesto.

Por otra parte, deberemos añadir como coste las tecnologías que se van a emplear durante el proyecto como el hardware y el software que se utilizarán (en este caso licencias de ser necesarias).

4.2.1 Coste del Hardware

Hardware	Modelo	Coste
Computadora	Portátil HP 15-da0108ns	749,00€
Dron	Goolsky MJX con sensor gps incorporado	185,99€
Pixhawk	Pixhawk 4	102
Radio telemetría	Sharplace 3DR	22,39€
LIDAR	Láser LIDAR Lite V3 Pixhawk	169,00€
Total:		1228,38€

Tabla 6: coste del hardware

4.2.2 Coste del Software

Software	Modelo	Coste
Sistema operativo	Windows	23,90€
Maquina virtual (para uso Ubuntu)	VMWare Workstation	0
Licencia Ubuntu	Ubuntu	0
Licencia creación Gráficas	Matlab 2017	35€
Herramienta de Ofimática	Microsoft Office 365	8,80€/mes
Herramienta de planificación	Microsoft Project 2016	25€/mes
Herramienta para uso del dron	QGroundControl	0
Total:		396,9

Tabla 7: coste del software.

Teniendo en cuenta todos los gastos correspondientes al proyecto el presupuesto total sería de 6921,41€ para la realización del proyecto. Esa cifra podría ser algo superior si se aplicaran distintos incrementos como las horas extras de algún componente del proyecto, las dietas, etc.

4.3 Definición de requisitos funcionales

A continuación, se van a definir los requisitos funcionales con los objetivos establecidos en el inicio del documento. Se ha escogido una estructura clara para los requisitos de manera que sea fácil entenderlos y probarlos. La tabla donde se definen los requisitos es la siguiente:

Identificador del requisito	
Nombre del requisito	
Necesidad	
Verificabilidad	
Prioridad	
Fecha de creación	
Descripción	

Tabla 8: especificación de la tabla de requisitos.

En primer lugar, explicaremos la función de cada uno de los campos.

Identificador del requisito: identificador único que representa de forma inequívoca el requisito. Seguirá la estructura RF-XX donde XX será el número de requisito.

Nombre: identificador del requisito por el nombre que lo trata.

Necesidad: grado de importancia del requisito sobre el proyecto, siendo cuanto más alto más importante en su correcta resolución. Las posibilidades de este campo son: alta, media y baja.

Verificabilidad: grado de verificación que se puede dar sobre el requisito que se está tratando. Las posibilidades de este campo son: alta, media y baja.

Prioridad: en este campo se relaciona la necesidad del requisito con la planificación especificada anteriormente. Con estos dos campos se podrá pedir si es necesario tenerlo de una manera urgente o si por el contrario no hay tanta prisa y tiene una baja prioridad. Los posibles valores que contiene este campo son: urgente, alta, media y baja.

Fecha de creación: en este campo se especificará la fecha en la que se creó el requisito ya que habrá requisitos que han sido creados más tarde que el resto según se ha visto la necesidad de tenerlos. El formato que tendrá este campo será DD/MM/AAAA siendo DD el día del mes, MM el mes del año y AAAA el año en el que se creó.

Descripción: en este campo se especificará en detalle qué es lo que debe hacer el requisito conociendo su alcance y dificultad de este.

RF-01	
Nombre del requisito	Integración del LIDAR al dron
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Alta
Prioridad	Urgente
Fecha de creación	15/04/2018
Descripción	Integración en el dron mediante con las conexiones y comprobación de la configuración del PX4 del LIDAR.

Tabla 9: RF-01 Adición del sensor LIDAR.

RF-02	
Nombre del requisito	Función comparación alturas
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Alta
Prioridad	Urgente
Fecha de creación	15/04/2018
Descripción	Creación de un método que muestre una gráfica las alturas proporcionadas por los sensores del GPS, barómetro y LIDAR.

Tabla 10: RF-02 Comparativa de alturas entre GPS, barómetro y LIDAR.

RF-03	
Nombre del requisito	Función del terreno volado
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Alta
Prioridad	Alta
Fecha de creación	15/04/2018
Descripción	Creación de un método que muestre una gráfica con la misión realizada teniendo en cuenta las latitudes y longitudes seguidas

Tabla 11: RF-03 Generación de gráfica del terreno circulado por el dron.

RF-04	
Nombre del requisito	Función desviación ejes
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Alta
Prioridad	Media
Fecha de creación	20/04/2018
Descripción	Creación de un método que muestre una gráfica con los movimientos del pitch y el roll durante la misión

Tabla 12: RF-04 Generación gráficas pitch y roll.

RF-05	
Nombre del requisito	Función altura del LIDAR en metros
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Alta
Prioridad	Alta
Fecha de creación	20/04/2018
Descripción	Creación de un método que muestre una gráfica con la altura en metros del LIDAR a lo largo de la misión

Tabla 13: RF-05 Generación de función de la altura del terreno durante la misión del dron.

RF-06	
Nombre del requisito	Función corrección altura del LIDAR con la original
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Alta
Prioridad	Alta
Fecha de creación	20/04/2018
Descripción	Creación de un método que muestre una gráfica con las alturas obtenidas por el LIDAR durante el vuelo y por las distancias corregidas por el LIDAR teniendo en cuenta el pitch y el roll.

Tabla 14: RF-06 Generación de la función de la altura del LIDAR y la corregida por la inclinación.

RF-07	
Nombre del requisito	Creación de una gráfica 3D teniendo en cuenta los datos del LIDAR
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Alta
Prioridad	Alta
Fecha de creación	20/04/2018
Descripción	Creación de un método que genere una gráfica 3D donde se pueda observar el trayecto realizado por el dron indicando en cada punta la altura del terreno

Tabla 15: RF-07 Generación de la función de creación de una gráfica 3D con la altura del terreno.

5. Sensor LIDAR

En este apartado hablaremos acerca del LIDAR, que es el sensor sobre el que van a tratarse las pruebas, en este caso se explicará que es y como realiza la medición de sus datos y seguidamente las transformaciones que se han realizado para poder hacer una gráfica donde se comparen los distintos sensores de alturas.

5.1 Definición del sensor LIDAR y propiedades

El LIDAR-Lite, que es el sensor que utiliza el dron con el que se ha realizado el proyecto, es un sensor compacto, el cual se conecta por la entrada I2C o PWM que se conecta en la parte central del dron perpendicular al suelo y el cual se encarga de calcular la distancia al suelo y la proximidad con este. Entre sus características se puede destacar su diseño compacto y ligero y como existen opciones en las cuales el usuario puede permitir ajustar la precisión con la que el LIDAR toma los datos, el tiempo de medición durante las misiones o cuánta distancia queremos que mida como máximo. Tiene una medición máxima de 40 metros. [20][21]

5.2 Conexión del LIDAR al dron

Para el desarrollo de este proyecto hubo que conectar el LIDAR al dron y seguidamente configurarlo desde el QGroundControl para tenerlo activado y al realizar las pruebas realizase su medición de los datos al igual que el resto de los sensores.

Por ello, en primer lugar, se conectó el LIDAR al bus I2C que es el recomendado por todas las guías para su conexión y una vez conectado al PX4 desde QGroundControl se accede al menú de configuración y dentro de este deberemos activar dos puertos.

El primer puerto por activar, el SENS_EN_LL40LS, es el que se encarga de activar el puerto para que el sensor que haya de búsqueda de rango pueda empezar con su medición de los datos y se puede activar a 1 o a 2 dependiendo

de si el LIDAR fue conectado en el bus PWM o L2C, por lo tanto, en nuestro caso ese puerto se activa en el 2.

El segundo puerto, el EKF2_RNG_AID, es el que hace que el vehículo use el buscador de rango como fuente primaria para estimar la altura a la que se encuentra. Por defecto ese sensor es el barómetro. De manera que para modificar este puerto y que detecte el LIDAR que acabamos de conectar, deberemos cambiar su estado a 1 con lo que el puerto se activará y tomará el LIDAR como sensor de referencia mientras que la velocidad y la distancia al suelo sean menores que otros dos puertos, los EKF2_RNG_A_VMAX y EKF2_RNG_A_HMAX, que serán los encargados de tomar los límites en los que queremos usar dicho sensor.

Una vez activados ambos puertos podremos comenzar a hacer las misiones y tomar los datos proporcionados por todos los sensores con los que ya contaba el dron y con este añadido LIDAR para poder realizar en el siguiente capítulo las mediciones de los terrenos y las diferencias que podemos encontrar entre los mismos. [22] [23]

5.3 Transformación de los datos del LIDAR para su uso en las pruebas

Para ello en primer lugar, tendremos dos archivos en los cuales se almacenará la altura que nos proporciona el LIDAR. Utilizaremos la que nos proporciona la altura en metros desde el dron hasta el suelo, deberemos realizar en primer lugar un reajuste de los datos teniendo en cuenta el roll y el pitch del dron en esos momentos para obtener el dato más fiable posible y sobre ello modificar esa medida para mantener el estándar en el que trata el resto de los sensores de altura para poder hacer una medición real del terreno. Por ello, para la transformación de los datos lo que haremos será restarle a la altura proporcionada globalmente la altura corregida por el LIDAR hasta la superficie, obteniendo así un mapa topográfico con la altura del terreno durante todo el recorrido del dron.

Con todo configurado pasaremos a hablar de cuál ha sido todo el proceso para la realización de las pruebas y hablar de las mismas.

6. Desarrollo de las pruebas

Para la realización de las pruebas, el proceso de adquisición de los datos fue un proceso iterativo en el cual se seguían las siguientes fases:

1º Creación de las misiones en la herramienta QGroundControl: en este primer paso, se seleccionaba cuál era el recorrido que el cuadricóptero podría realizar y, una vez creado y configurado, se iniciaba la misión y se guardaban en los logs los datos correspondientes a la recogida de información por parte de los sensores. En este apartado cabe destacar que todos los vuelos fueron realizados por el modo de piloto automático del dron y supervisado en todo momento por un operador que era el encargado de ver que todo funcionaba a la perfección y si se descubría algún tipo de error era el encargado de pasar al modo manual y terminar con la misión.

2º Conversión de los datos de los logs del dron al formato .csv: en este segundo paso, una vez realizada la misión y guardado en su log correspondiente los datos recogidos por los sensores se realiza la conversión de esos datos a formato .csv (formato separado por comas). Para ello es necesario la utilización de una librería de Python especializada en la transformación de los datos de los logs a .csv.

3º Creación de pruebas con Matlab: una vez transformado los datos, como tercer paso, utilizando un script creado con los datos que necesito en Matlab, se generan las distintas tablas necesarias para el estudio y se observa el comportamiento de los datos recibidos por los distintos sensores sobre el entorno en el que se realizó.

Una vez conocidos los distintos pasos necesarios para la realización de las pruebas, estas se centrarán en la obtención de la altura por los tres sensores que tratan con ellas que son: el GPS, el barómetro y el LIDAR. Seguidamente se observarán las distancias obtenidas por el LIDAR durante el vuelo y la transformación de dichos datos por la inclinación del dron para intentar obtener un dato más adecuado a lo que se pide. Con ellas se irán exponiendo las diferencias entre cada una de ellas para las diferentes pruebas donde cada terreno seleccionado irá siendo más complejo que anterior.

Para realizar dichas comparativas y conocer cuál es el ángulo de inclinación del dron durante el vuelo, se ha realizado tratamiento de los datos para que cada

uno de los ficheros utilizados en las pruebas mantenga el mismo número de datos y podamos operar con ellos.

En este caso ese tratamiento de datos se aplicó en tres ficheros: El fichero donde se guarda la distancia proporcionada por el LIDAR, el fichero que te proporciona la altura global del dron, además de la longitud y latitud durante el vuelo y por último el fichero que te indica cuál ha sido el grado de inclinación del roll y el pitch durante el vuelo.

La primera prueba que se presentará se ha realizado sobre terreno llano para conocer las diferencias en las medidas entre los tres sensores y las siguientes incluyen obstáculos por los que han pasado ya sea por árboles o en el último caso por encima de un edificio.

6.1 Ejecución de la misión sin obstáculos

Para esta primera misión, lo que se va a realizar es una misión teniendo en cuenta que el terreno será llano y por tanto no debería encontrarse mucha variación de datos en el terreno durante toda la misión y poder observar así el comportamiento de todos los sensores en este tipo de prueba más sencilla.

Por ello el trayecto de esta misión es el siguiente:



Ilustración 26: misión preparada por el programa QGroundControl de terreno llano.

Donde su punto de aterrizaje y despegue es el mismo.

Una vez preparada la misión en el QGroundControl y realizada lo primero que se comprueba es que el dron ha seguido el trayecto programado.

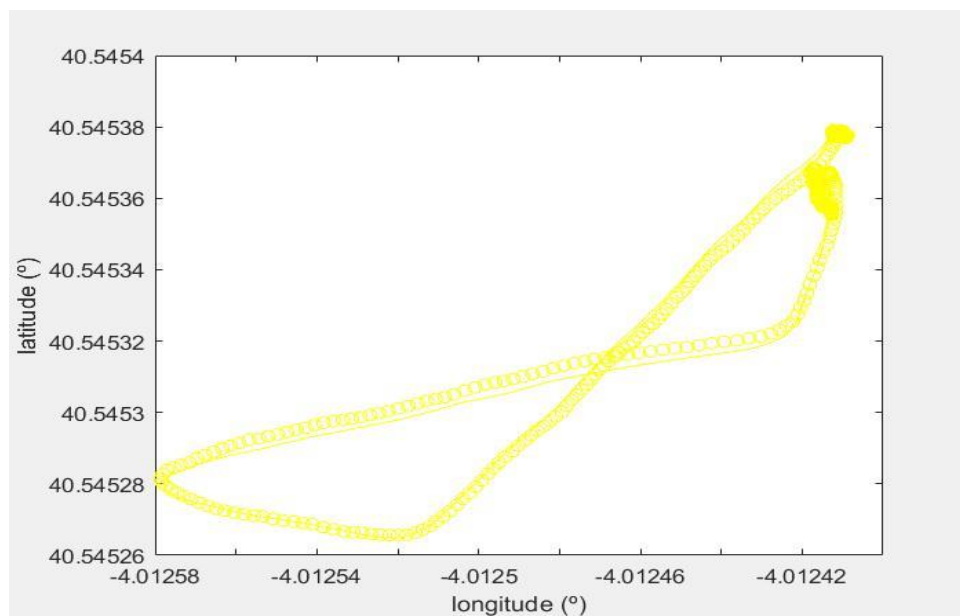


Ilustración 27: gráfica en Matlab comprobando que se realizó correctamente la misión 1.

Como se puede observar el trayecto realizado por el dron es casi el mismo que el que ha sido preparado por la misión del QGroundControl.

Una vez comprobado que el dron sigue las especificaciones dadas por el programa pasaremos a realizar un estudio sobre los diferentes sensores, en este caso los que tratan la altimetría y la modificación de los datos del LIDAR para proporcionar más fiabilidad, realizando un estudio de las alturas dadas por el LIDAR en comparación a las obtenidas por el barómetro, el GPS y la global cogida por el dron.

Durante el vuelo podemos observar las siguientes medidas dadas por los sensores:

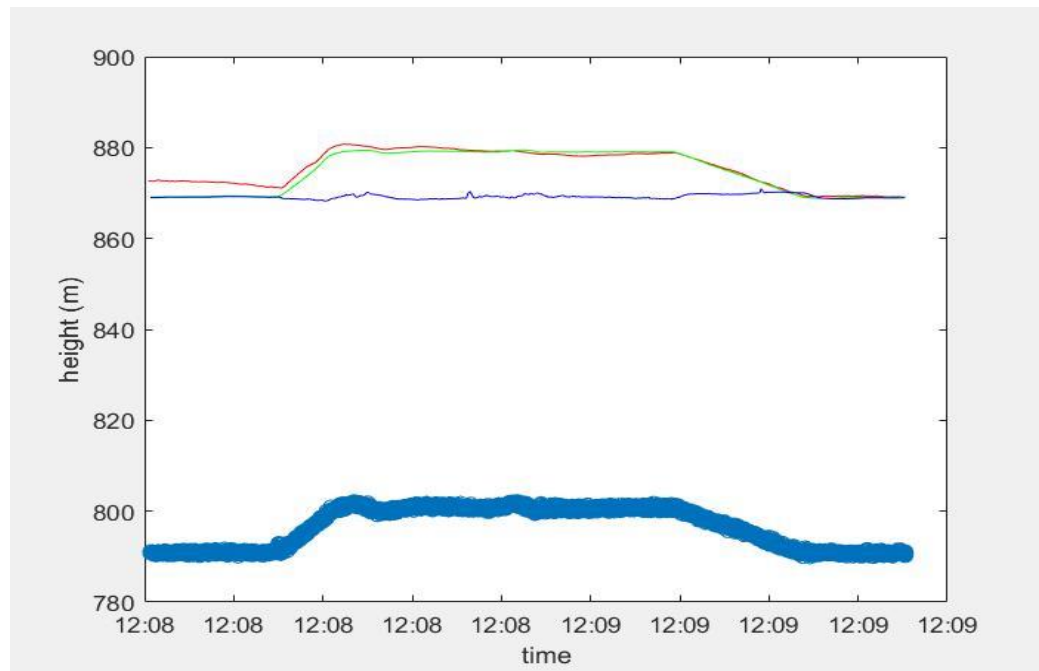


Ilustración 28: gráfica en Matlab mostrando las diferencias de alturas por los sensores del dron.

Dentro de esta imagen en primer lugar, se debe especificar que el color azul oscuro en la parte inferior de la imagen son los datos proporcionados por el barómetro. Dentro de la zona central podemos observar como el color azul son los datos proporcionados por el LIDAR mostrando las variaciones de altura del terreno cuando se realizaba el vuelo por encima del edificio, el color rojo son los datos proporcionados por el GPS y por último los datos de color verde son la altura estimada a partir de las diferentes medidas proporcionadas por los sensores.

Como se puede observar en esta imagen el barómetro es el único que mantiene una diferencia de altitudes de alrededor de 100 metros con el resto, esto se debe a un problema de calibración inicial del dron aunque se tiene en cuenta internamente para combinar el barómetro con el GPS. Dentro de la zona del medio podemos observar el GPS, el global y el LIDAR y cómo entre ellos realizan mediciones bastante cercanas a la realidad teniendo en cuenta que el LIDAR se diferencia de ellos ya que saca el perfil del suelo y no la altura sobre la que se encuentra el dron. Por ello, se puede observar cómo entre ellos el LIDAR es el más fiable puesto que gracias a su sensor, puede conocer si hay algún desnivel sobre el terreno que en este caso será prácticamente llano ya que no hay obstáculos notables en esta misión.

Para realizar esta medición del terreno en primer lugar como se especificó anteriormente se tiene que realizar un reajuste del dato obtenido de la altura por el LIDAR ya que tendremos que tener en cuenta el roll y el pitch del dron en cada medición del LIDAR para poder obtener el dato más fiable (que en este caso es cuando el LIDAR está perpendicular al suelo).

Por ello, en primer lugar, deberemos observar dentro del LIDAR si el dron ha tenido mucho movimiento por la parte del roll y el pitch, ya que al tener el sensor de manera perpendicular al dron cualquier movimiento que incline el dron modifica el dato original de altura dando así un pequeño error a cada altura.

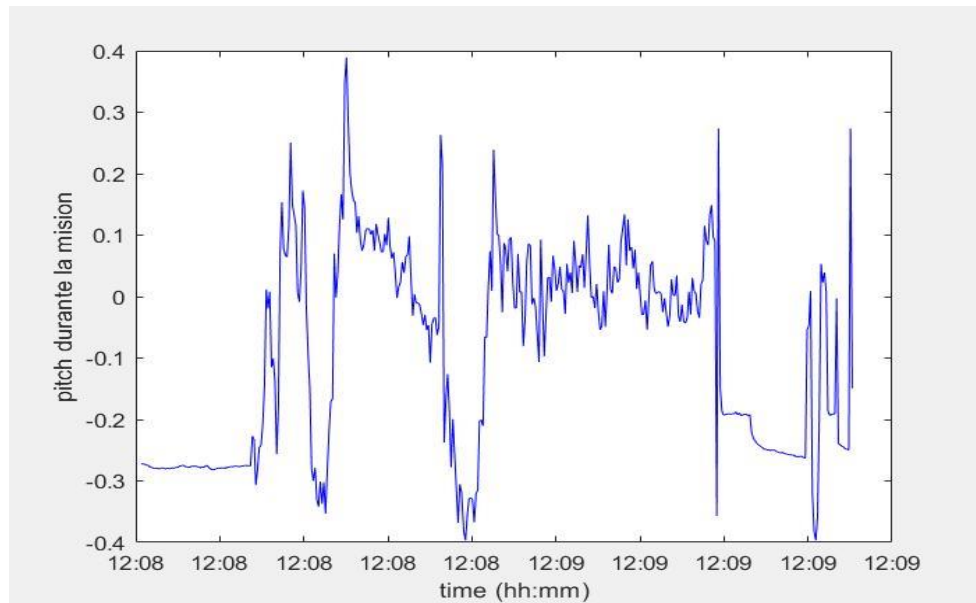


Ilustración 29: gráfica en Matlab reflejando el movimiento del pitch en grados durante la misión 1.

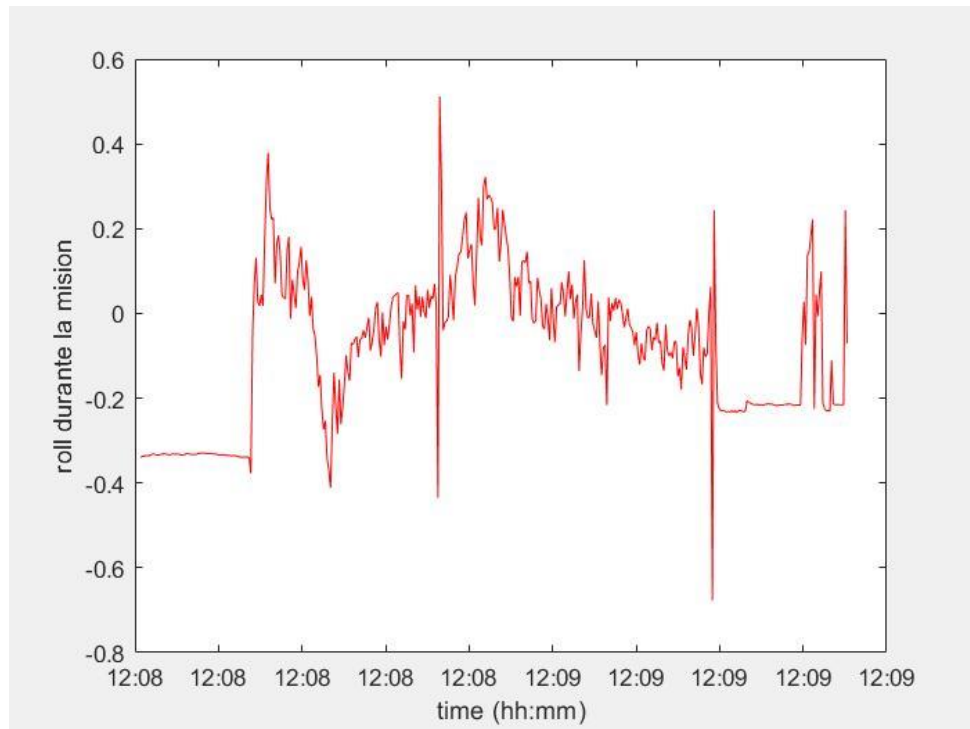


Ilustración 30: gráfica en Matlab reflejando el movimiento del roll en grados durante la misión 1.

Como se puede observar en estas gráficas, la variación de los ángulos no es muy alta. Con ellos calcularemos en siguiente lugar la altura corregida para obtener los datos más fiables posibles del LIDAR. La fórmula para el cálculo de la distancia corregida es la siguiente:

$$Altura\ corregida = distanciaLidar * \cos \alpha * \cos \beta$$

Ecuación 1: corrección de las alturas proporcionadas por el LIDAR.

siendo α y β los ángulos de inclinación del roll y el pitch durante cada distancia dada por el LIDAR.

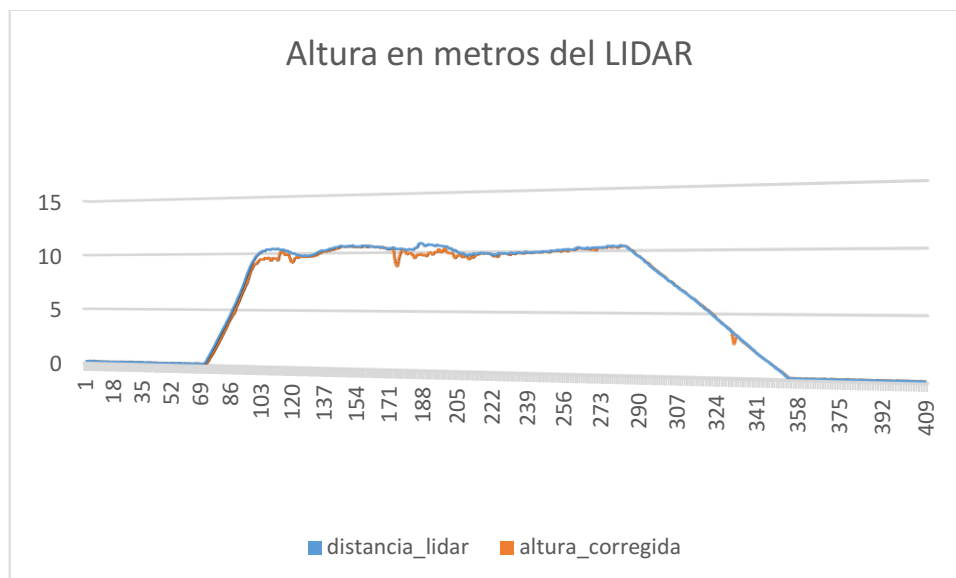


Ilustración 31: gráfica Excel reflejando la altura del LIDAR en metros y la altura corregida.

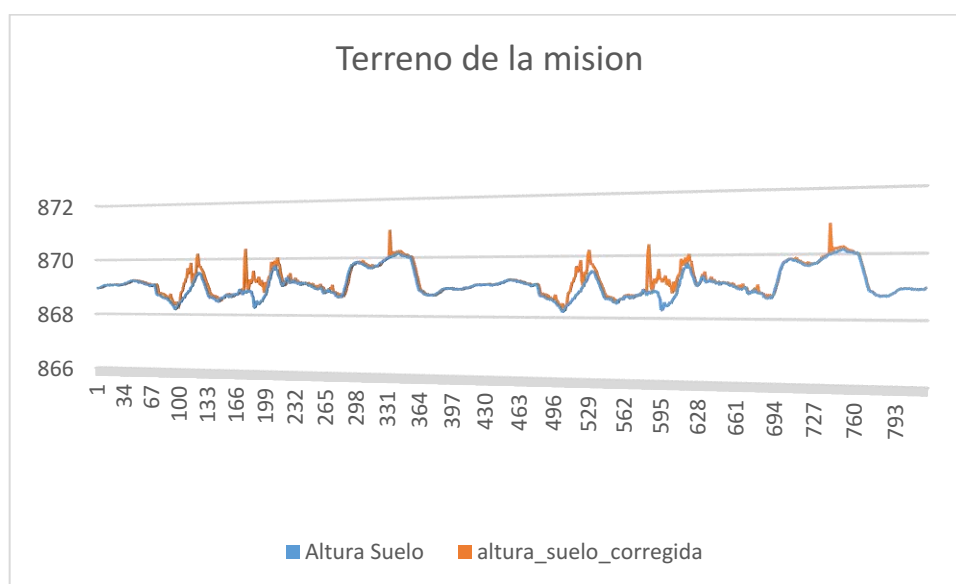


Ilustración 32: gráfica Excel reflejando la altura de LIDAR en metros sobre el nivel del mar y la altura corregida.

En este caso, podemos observar como la altura corregida hace que en algunas zonas haya distinción entre lo detectado de manera inicial y lo obtenido al equilibrar el dron sobre los ángulos de rotación de este.

Finalmente se mostrará un mapa 3D donde se puede observar el trayecto realizado por el dron desde distintos ángulos mostrando la topografía del suelo durante el trayecto.

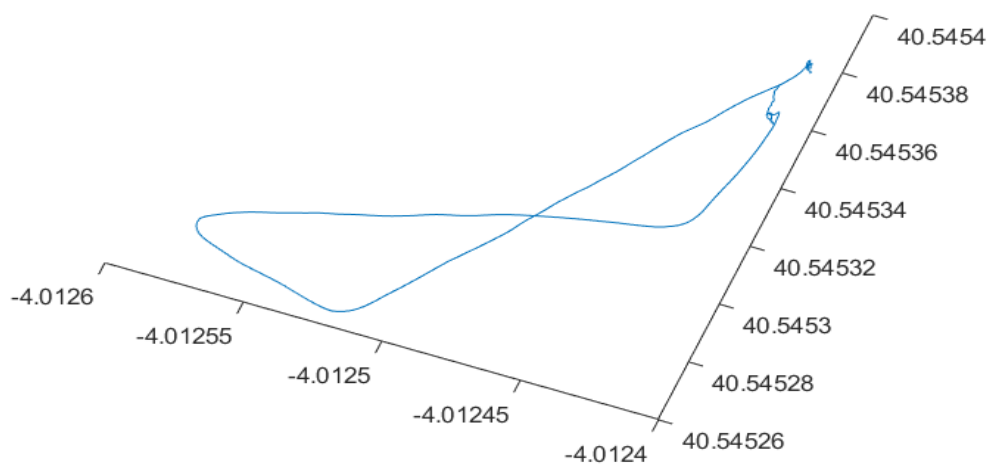


Ilustración 33: gráfica en Matlab del mapa 3D desde arriba de la misión 1.

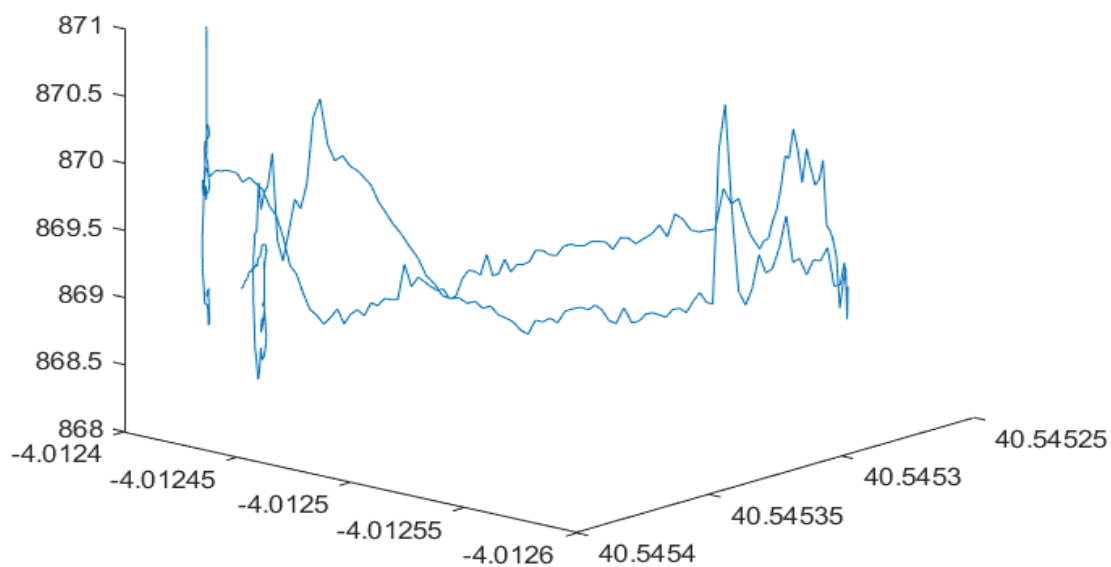


Ilustración 34: gráfica en Matlab 3D sobre la misión realizada.

Observando estas imágenes podemos comprobar cómo está realizando un mapa topográfico basándose en la elección inicial de la misión y teniendo en

cuenta el terreno por el que pasa viendo las pequeñas modificaciones en la gráfica y las correcciones realizadas de los ángulos de movimiento del dron.

6.2 Ejecución de la misión con obstáculos en el suelo

Para esta misión, lo que se va a realizar es una misión teniendo en cuenta que se encuentran obstáculos por el camino. En este caso habrá un edificio que el dron deberá sobrevolar y de esa manera comprobaremos las diferencias de medidas de altitud entre los sensores durante todo el trayecto

Por ello el trayecto de esta misión es el siguiente:

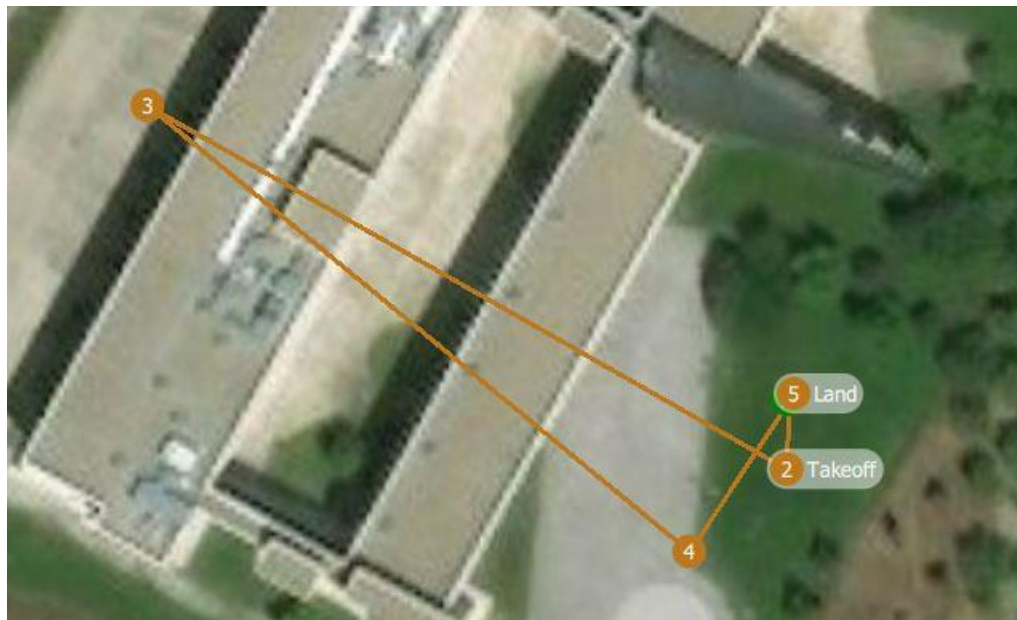


Ilustración 35: misión preparada por el programa QGroundControl de terreno con obstáculos.

Una vez preparada la misión con el QGroundControl y realizada por el dron comprobaremos en primer lugar si sigue el trayecto que se le planteó.

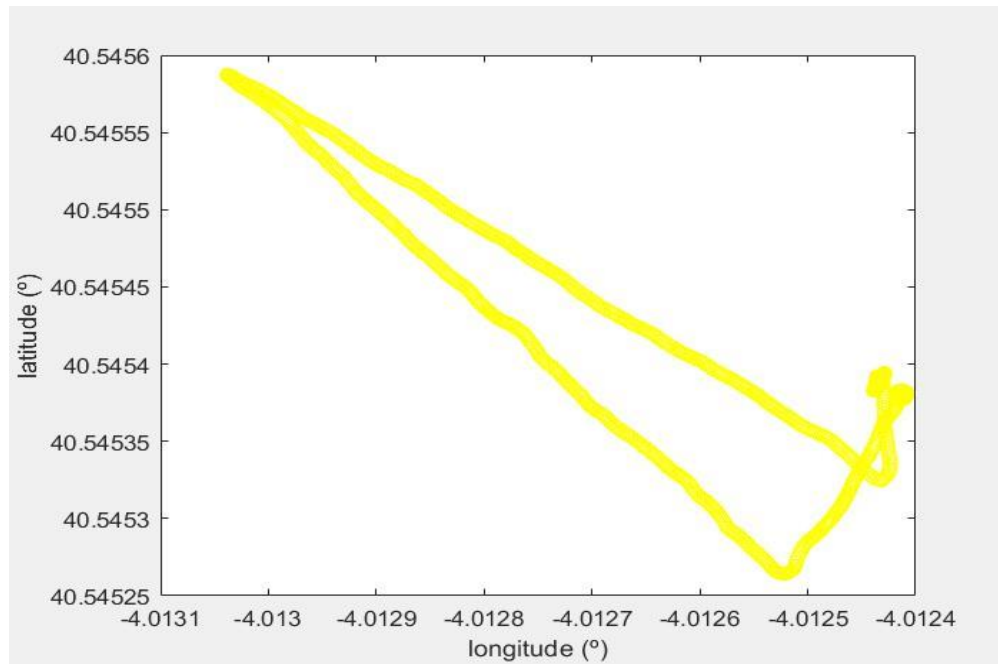


Ilustración 36: gráfica en Matlab comprobando que se realizó correctamente la misión 2.

Como se puede observar, el trayecto realizado por el dron es el mismo que el preparado por la misión del QGroundControl.

Una vez comprobado que el dron sigue las especificaciones dadas por el programa, pasaremos a realizar un estudio sobre los diferentes sensores que tratan la altimetría. En este caso, realizando un estudio de las alturas dadas por el LIDAR en comparación a las obtenidas por el barómetro, el GPS y la global estimada por el dron.

Durante el vuelo podemos observar las siguientes medidas dadas por los sensores:

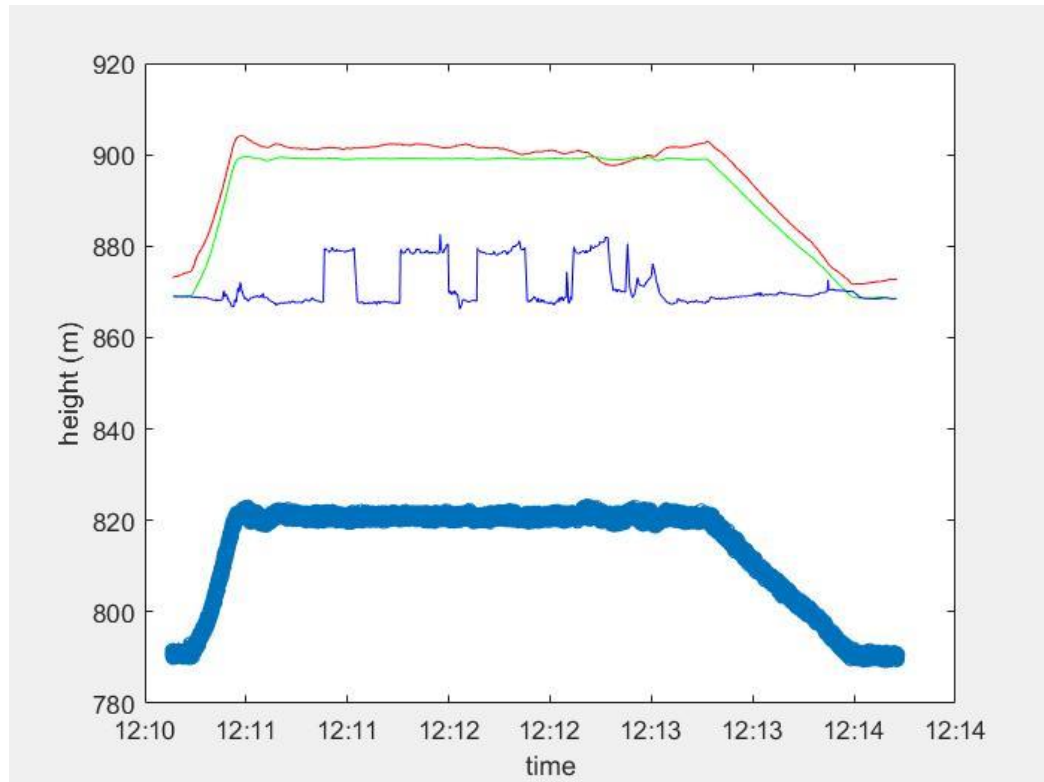


Ilustración 37: gráfica en Matlab mostrando las diferencias de alturas por los sensores del dron.

Dentro de esta imagen en primer lugar se debe especificar que el color azul oscuro en la parte inferior de la imagen son los datos proporcionados por el barómetro. Dentro de la zona central podemos observar cómo el color azul son los datos proporcionados por el LIDAR, mostrando las variaciones de altura del terreno cuando se realizaba el vuelo por encima del edificio, el color rojo son los datos proporcionados por el GPS y por último los datos de color verde son la altura estimada a partir de las diferentes medidas proporcionadas por los sensores.

Como se puede observar en esta imagen, el barómetro es el único de los sensores que no tiene mucha semejanza con el resto de los sensores de altura ya que tiene una diferencia de 100 metros entre ellos como en la prueba anterior por un problema de calibración inicial. Dentro de la zona del medio podemos observar el GPS, el global y cómo entre ellos realizan mediciones parecidas teniendo en cuenta que el LIDAR se diferencia de ellos ya que saca el perfil del suelo y no la altura sobre la que se encuentra el dron y por ello se puede observar como entre ellos el LIDAR es el más fiable puesto que gracias a su sensor, puede conocer si hay algún desnivel sobre el terreno (en este caso el edificio que se sobrevuela durante la misión) y en este caso, reflejarlo como se muestra en la

gráfica en los desniveles que son las zonas en las que pasa por el edificio para la ida y para la vuelta.

Para realizar esta medición del terreno en primer lugar como se especificó anteriormente, se tiene que realizar un reajuste del dato obtenido de la altura por el LIDAR ya que tendremos que tener en cuenta el roll y el pitch del dron en cada medición del LIDAR para poder obtener el dato más fiable (que en este caso es cuando el LIDAR está perpendicular al suelo).

Por ello, en primer, lugar deberemos observar dentro del LIDAR si el dron ha tenido mucho movimiento por la parte del roll y el pitch, ya que al tener el sensor de manera perpendicular al dron cualquier movimiento que incline el dron modifica el dato original de altura dando así un pequeño error a cada altura.

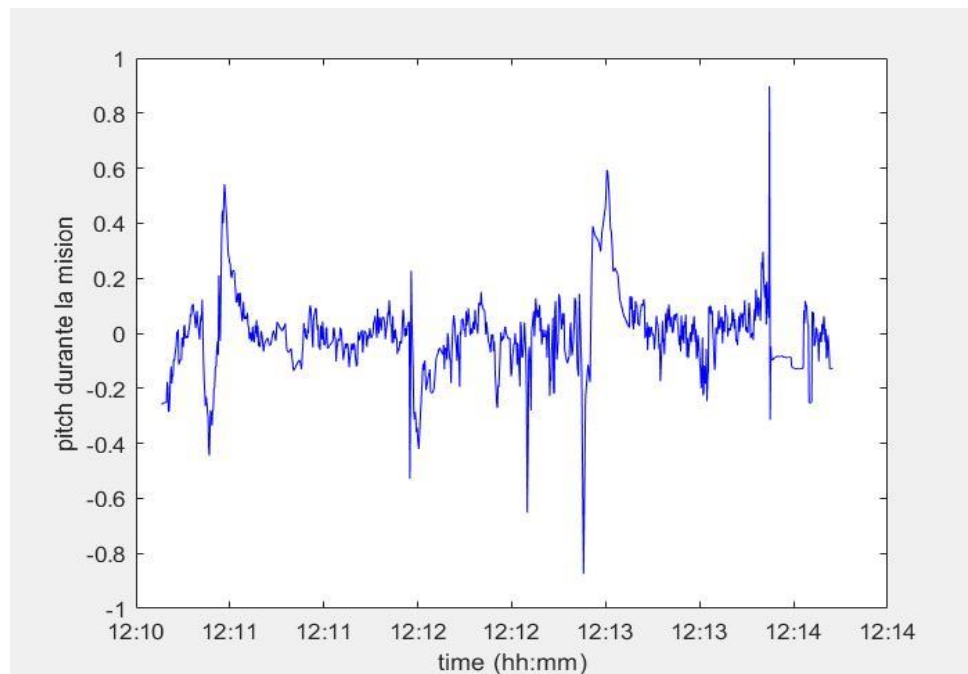


Ilustración 38: gráfica en Matlab reflejando el movimiento del pitch durante la misión 2.

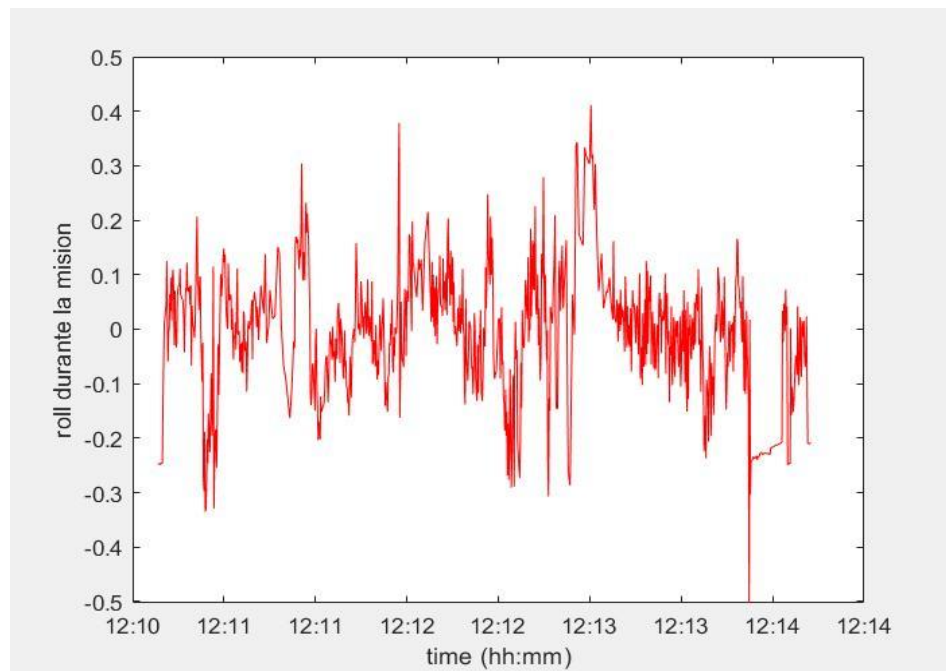


Ilustración 39: gráfica en Matlab reflejando el movimiento del roll durante la misión 2.

En estas gráficas podemos observar como el pitch del dron tiene más inclinación durante el trayecto que el roll. Con estos se calculará la altura corregida del dron en cada punto de la misión.

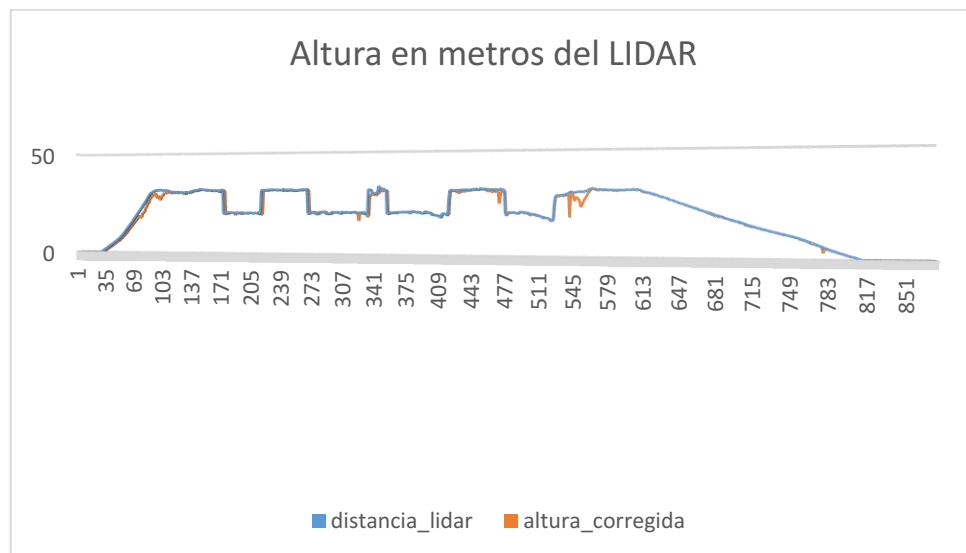


Ilustración 40: gráfica Excel reflejando la altura del LIDAR en metros y la altura corregida.

En este caso, como podemos observar, durante todo el vuelo la desviación del pitch y el roll es de menos de 0.5 grados de rotación sobre el centro del dron, por tanto, la variación de los datos es casi nula y como los datos corregidos y sin corregir no varían en gran medida que pasados a la altura sobre la que se ha

observado con el resto son muy parecidos exceptuando algunas zonas puntuales.

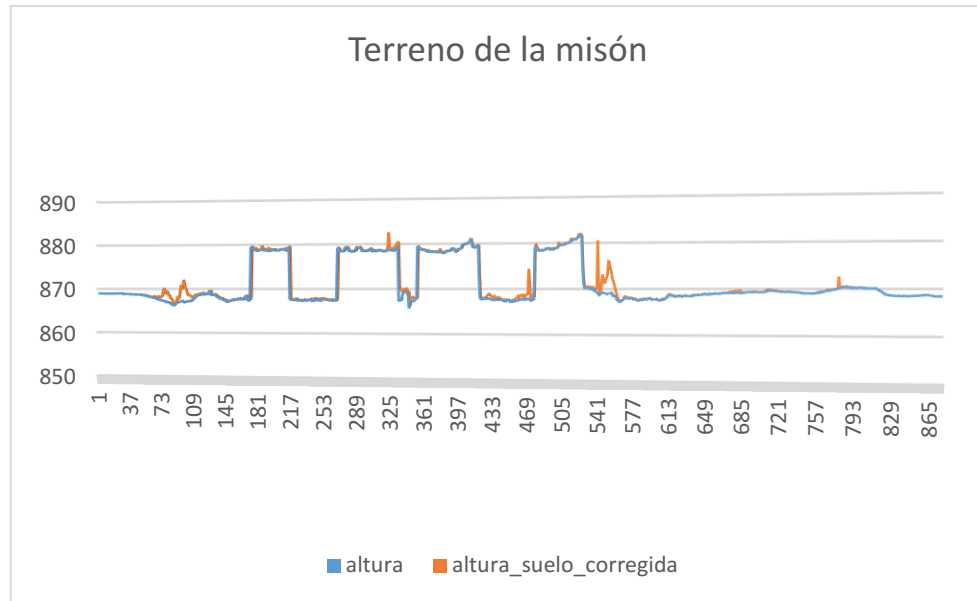


Ilustración 41: gráfica Excel reflejando la altura de LIDAR en metros sobre el nivel del mar y la altura corregida.

Finalmente se mostrará un mapa 3D donde se puede observar el trayecto realizado por el dron desde distintos ángulos mostrando la topografía del suelo y los momentos en los que pasa por encima de los obstáculos.

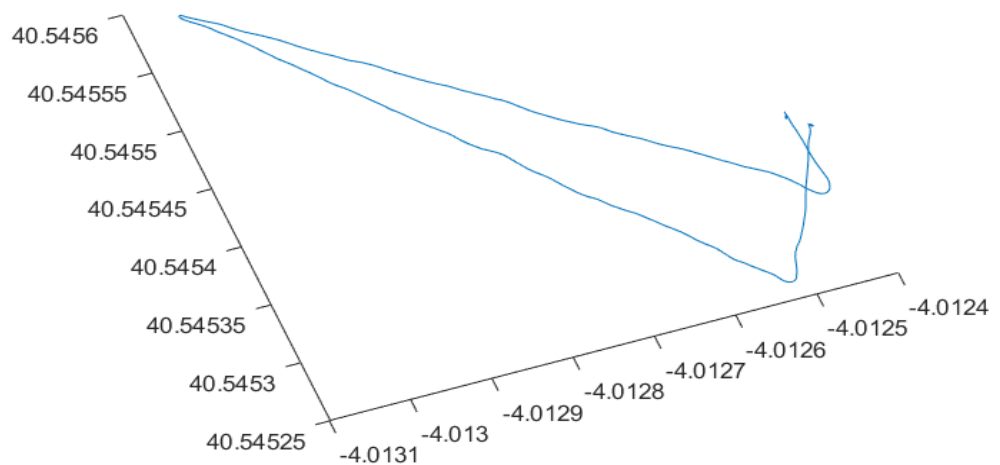


Ilustración 42: gráfica en Matlab del mapa 3D desde arriba de la misión 2.

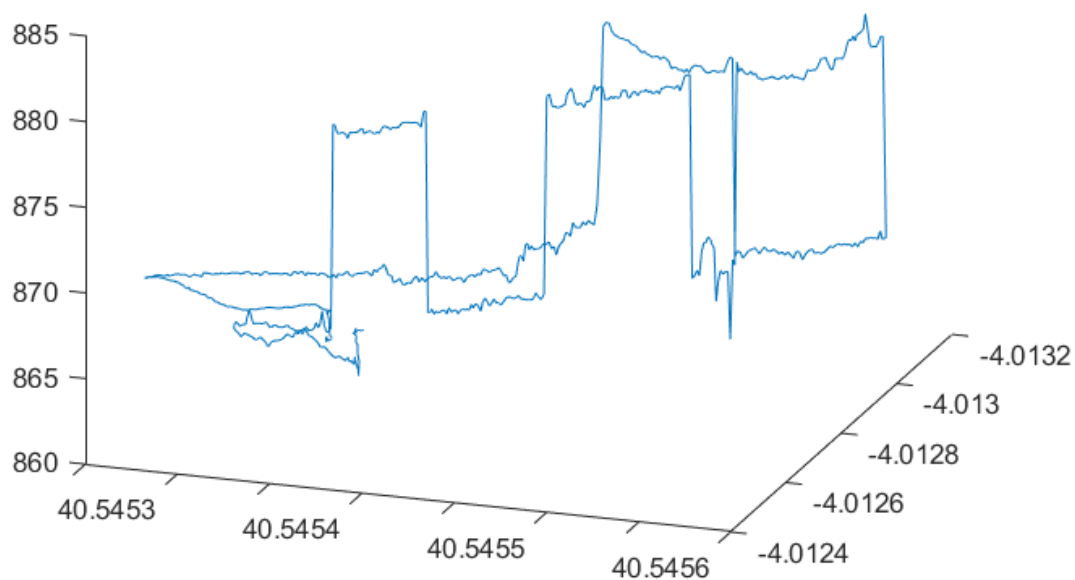


Ilustración 43: gráfica en Matlab 3D sobre la misión 2 de frente.

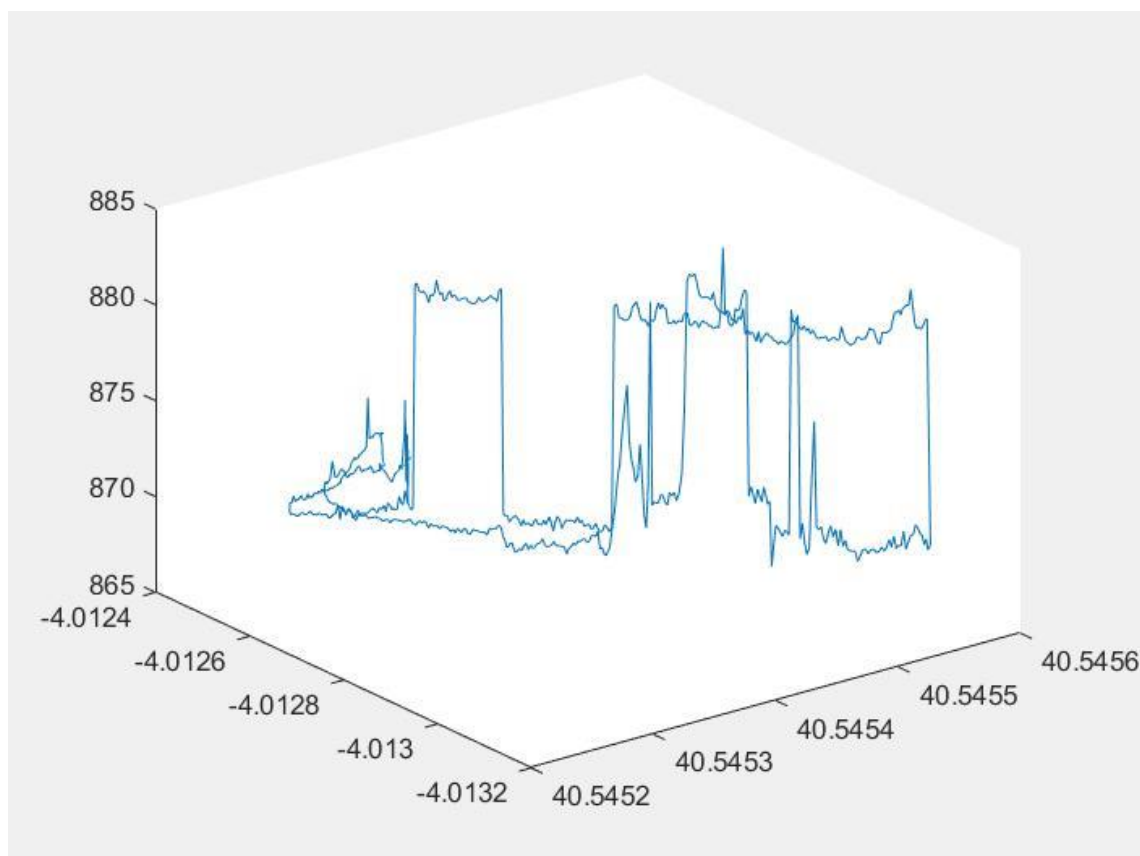


Ilustración 44: gráfica en Matlab 3D sobre la misión 2 por otro ángulo.

Observando estas imágenes podemos comprobar cómo está realizando correctamente un mapa topográfico basándose en la elección inicial de la misión y teniendo en cuenta los obstáculos por los que se ha pasado durante el mismo.

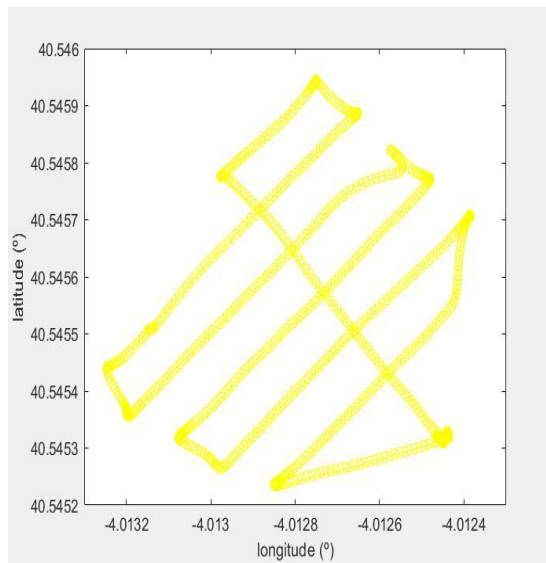
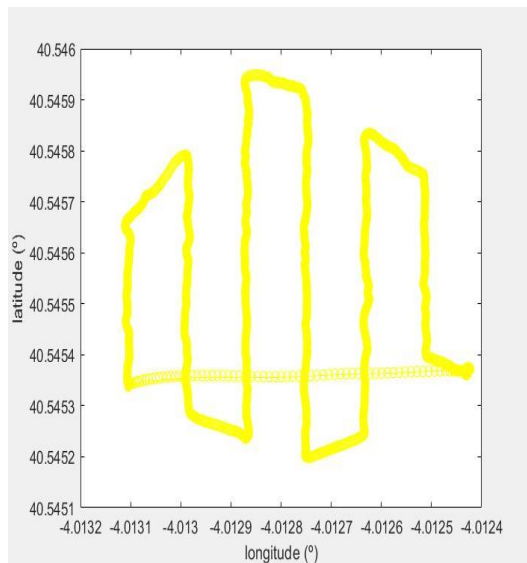
6.3 Ejecución de la misión por patrón de vigilancia con diferentes velocidades.

Para estas últimas misiones, lo que se va a realizar es una comprobación de como el dron obtiene los datos, realizando una misión mas larga teniendo una velocidad en el primer caso de 1m/s y en el segundo caso de 5m/s para conocer el efecto atmosférico en el resultado final.

Por ello los trayectos para esta última prueba son los siguientes:

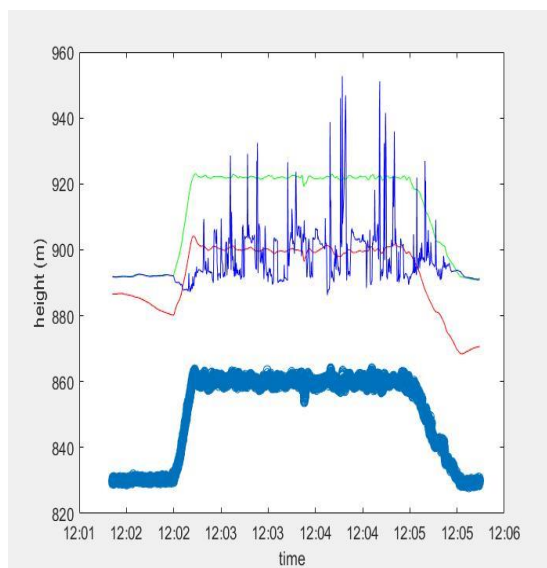
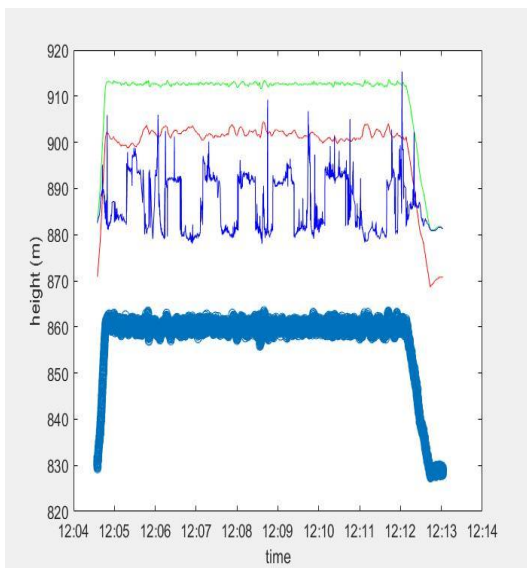


Una vez preparadas las misiones con el QGroundControl y realizadas por el dron, comprobaremos en primer lugar si se han seguido correctamente los trayectos que se le plantearon.



Como se puede observar a través de estas dos imágenes, en la imagen de la izquierda se puede observar como el trayecto ha sido realizado siguiendo el patrón establecido, mientras que en la imagen de la derecha se puede apreciar como hay momentos del vuelo en los que se ha modificado el vuelo con relación a lo establecido.

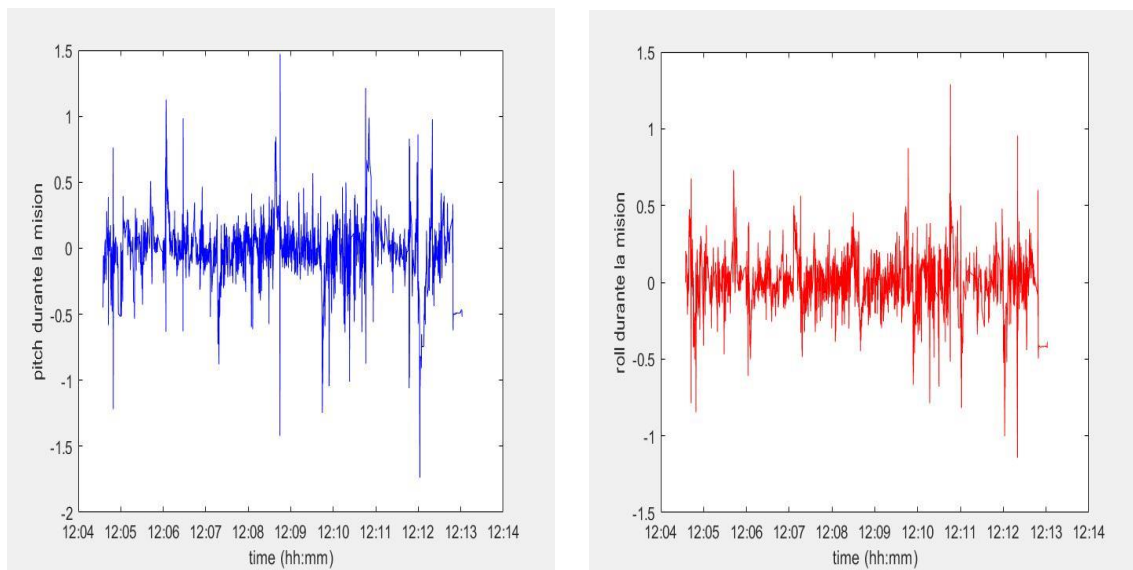
Una vez comprobado la forma de la misión realizada en cada uno de los casos se pasará a realizar un análisis sobre los diferentes sensores en cada una de las pruebas.



Con relación a la altimetría se puede observar, como en la imagen de la izquierda, aunque existen en algunas zonas donde las alturas aumentan de una manera anómala por el efecto del tiempo, en líneas generales, se obtienen datos fiables a la realidad en relación con la misión especificada.

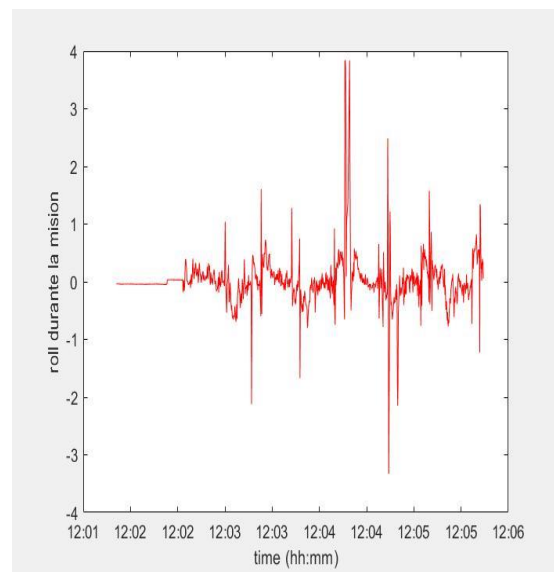
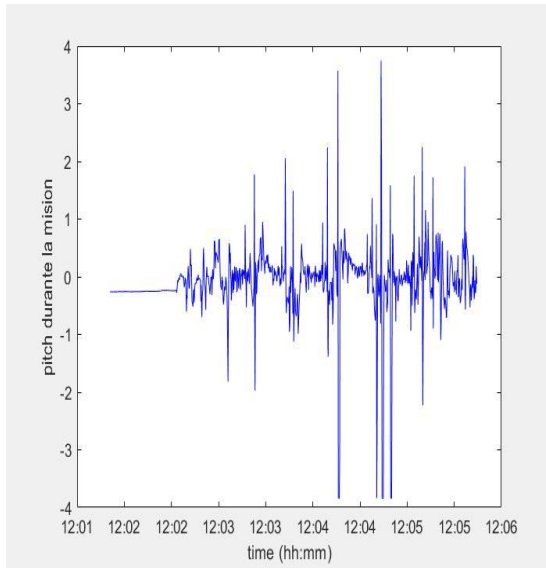
Sin embargo, si observamos la imagen de la derecha, podemos comprobar como existen dos puntos clave por los que no refleja de manera tan exacta la realidad de los datos. En primer lugar, debido a su velocidad de 5m/s y al tiempo atmosférico que había en la realización de la misión, el movimiento del dron era violento en algunos casos y el sensor LIDAR no era capaz de obtener el dato correspondiente a la posición donde se encontraba. En segundo lugar, debido a la alta velocidad llevada por el dron, a diferencia de la imagen de la izquierda, no podía obtener tantos datos referentes a la zona por la que circulaba obteniendo unos datos menos específicos a la misión que se iba a realizar.

Por tanto, para observar el movimiento del dron a lo largo del vuelo se hará una comparativa del movimiento de alabeo y cabeceo en cada uno de los dos casos propuestos.



Como se pueden mostrar en estas imágenes, mientras que en la misión en la que circulaba a 1m/s, el alabeo y cabeceo del dron no es muy amplio a lo largo de la misión en la que el dron circulaba a 5m/s se pueden comprobar hasta casi cuatro grados de inclinación en algunas zonas de la misión (en este caso debido al tiempo atmosférico, unido al alto viento producido ese día).

Con todo ello, podemos observar como la velocidad del dron en la misión implica una menor obtención de los datos y por tanto una peor fiabilidad a la hora de la obtención de la altimetría del suelo. También deberemos tener en cuenta como, realizando estas misiones, es necesario tener en cuenta el tiempo atmosférico a la hora de realizar las misiones, ya que el cuadricóptero utilizado para la realización del trabajo es ligero y por tanto propenso al movimiento del mismo si el tiempo atmosférico no es el adecuado.



7. Análisis de resultados

En este apartado se va a realizar un análisis de todo el trabajo realizado durante el proyecto, comentando tanto el cumplimiento de los objetivos que planteaba el proyecto como aquellos objetivos que podrían implementarse en futuros proyectos que pudieran surgir a partir de este.

Teniendo en cuenta todas las pruebas realizadas en el proyecto, podemos observar cómo todos ellos tenían un patrón claro que era cómo el dron en todos sus vuelos tomaba como sensor de referencia el GPS más que el barómetro o el LIDAR, ya que con este primero era capaz de conocer de una manera fiable su posición en cada momento y por tanto no era necesario tener el resto como referente. En este sentido también podemos observar cómo en todos los vuelos realizados, la configuración del sensor del barómetro, en este caso la altitud que proporciona durante el vuelo era muy diferente a la proporcionada por el GPS o por lo que el dron tomaba por global (que en este caso se basaba principalmente en el GPS con ligeras variaciones).

Teniendo en cuenta nuestros objetivos de proyecto que eran: el análisis y procesamiento de datos, la configuración del hardware y software del dron y la implementación del sensor LIDAR en el dron para su utilización en la obtención de la altimetría del suelo, podemos observar cómo todos ellos se realizan de manera secuencial en las fases del proyecto para realizar las misiones con la mayor veracidad de los datos. Por tanto, todos los objetivos han sido cumplidos y únicamente cabe destacar que dentro de la zona del análisis, siguiendo el estudio de los datos en cada prueba, fuimos comprobando cómo si queríamos obtener el dato correspondiente a la posición del dron teníamos que tener en cuenta los ángulos de inclinación durante todo el trayecto para así obtener el dato real (puesto que el LIDAR se sitúa de manera perpendicular al vuelo del dron y por tanto cualquier inclinación del dron durante la misión conlleva obtener un dato del suelo que no sería el original).

Por otro lado, si tenemos en cuenta los objetivos secundarios, hemos podido descubrir algunas posibles mejoras en el dron como podría ser la adición de una cámara o el reconocimiento de una zona completa durante la misión para hacer que los resultados obtenidos en las pruebas fueran más fiables y se pudiera observar de una manera más clara su representación. En este caso, gracias al modelo de Delaunay se podría observar con un mapa la forma del terreno por la

que volaba el dron durante su misión y gracias a la cámara se podría obtener datos de una manera más efectiva a la que se realiza actualmente con el uso del LIDAR.

Por otra parte, podemos observar cómo la planificación de tiempos asignada ha sido bastante similar a la que se ha obtenido finalmente, aunque se puede observar que el mayor tiempo de desarrollo está en las zonas finales, donde se comprobaba que todo lo realizado hasta entonces era lógico y se le daba el toque final al trabajo lo cual debería corregirse en futuros proyectos ya que debería tenerse un continuo desarrollo y trabajo durante el mismo sin tener meses de saturación.

En cuanto a los requisitos funcionales, en este caso las gráficas correspondientes a las pruebas, observaremos si han podido ser cumplidas con los datos de los vuelos del dron en la siguiente tabla:

Identificador	Requisito	Verificación
RF-01	Integración del LIDAR al dron	Este fue el primer requisito en verificar ya que era el pilar necesario para la realización del resto.
RF-02	Creación de un método que muestre en una gráfica las alturas proporcionadas por los sensores del GPS, barómetro y LIDAR.	Analizando los ficheros correspondientes al GPS, barómetro y LIDAR se pudo coger las alturas de cada uno de los ficheros y compararlas entre si en una gráfica realizada en Matlab.
RF-03	Creación de un método que muestre una gráfica con la misión realizada teniendo en cuentas las longitudes y latitudes seguidas	Analizando el fichero que contiene datos globales del dron se realizo una gráfica en Matlab especificando en cada

		caso la misión a realizar correspondiente
RF-04	Creación de un método que muestre una gráfica con los movimientos del pitch y el roll durante la misión	Analizando el fichero de los ratios del dron se realizaron dos gráficas en Matlab, una para observar el pitch a través del tiempo y otra para el roll por cada prueba realizadas.
RF-05	Creación de un método que muestre una gráfica con la altura en metros del LIDAR a lo largo de la misión	Analizando el fichero que contiene los datos del LIDAR se generó su gráfica correspondiente en Matlab
RF-06	Creación de un método que muestre una gráfica con las alturas obtenidas por el LIDAR durante el vuelo y por las distancias corregidas por el LIDAR teniendo en cuenta el pitch y el roll	Realizando tratamiento de datos se iguala el número de datos de la inclinación del dron con los del LIDAR y se realiza la operación correspondiente para obtener las alturas del LIDAR corregidas y se genera una gráfica en Excel mostrando las diferencias entre ambas
RF-07	Creación de un método que genere una gráfica 3D donde se pueda observar el trayecto realizado por el dron indicando en cada punta la altura del terreno	Realizando el tratamiento de datos entre los ficheros de los ratios de inclinación del dron, del global y del LIDAR se genera un fichero con el cual se realiza la gráfica 3D en

		Matlab mostrando sobre la misión realizada por el dron las alturas del terreno.
--	--	---

Tabla 16: verificación de requisitos en el proyecto.

8. Conclusiones

El proyecto ha consistido en el análisis y desarrollo de técnicas para la obtención de la altimetría del suelo utilizando el sensor lidar adherido al dron.

Para ello, en primer lugar, en el proyecto se ha estudiado el entorno relacionado con la tecnología de los drones para conocer en profundidad su funcionamiento y sus aplicaciones para este proyecto, del que podemos extraer los siguientes puntos clave:

- El sector de los drones se encuentra en un punto de aumento gracias a sus múltiples aplicaciones en los distintos entornos de trabajo y a que cada día se hacen más accesibles al público en general haciendo de los drones un elemento cada día más conocido en la sociedad.
- La principal mejora que se busca en estas aeronaves es su sistema de control autónomo para que el ser humano no tenga que mantener un control constante sobre las máquinas y estas mismas sepan qué acciones realizar en cada momento de una manera fiable y eficiente.

Por todas estas razones y habiendo centrado mi proyecto en el ámbito cartográfico, todas las pruebas y desarrollo han sido centradas en conocer los distintos sensores que actúan durante las misiones que realiza el dron y comparando las que se basan en las alturas del terreno como son el GPS, el barómetro y el LIDAR. Una vez conociendo su comportamiento, para la creación de las gráficas que representan el terreno sobre el que ha pasado el dron, se ha estudiado el comportamiento del sensor LIDAR y su forma de representación para demostrar que los datos obtenidos por dicho sensor eran correctos.

Dicho esto, se pueden extraer las siguientes conclusiones del desarrollo de este proyecto:

- Para la realización del proyecto ha sido necesaria la adquisición de múltiples conocimientos relativos al entorno de los drones, al entorno de generación de gráficas y el funcionamiento del software específico de este proyecto.
- También ha sido necesario un estudio en profundidad del software QGroundControl, especializado en la monitorización del dron durante

los vuelos, y todo lo relacionado a la configuración de los sensores del dron y calibración, entre otras cosas.

De forma genérica se puede concluir que es posible la obtención de la altimetría del suelo a partir del sensor LIDAR teniendo en cuenta la posición global del dron para obtener los datos más fiables posibles, los cuales permiten generar gráficas 3D que demuestran el correcto funcionamiento de estos.

Como contraparte de todo este sistema funcional se puede destacar la diferencia de ratios de obtención de datos de los distintos sensores. Esto hace que cada fichero tenga un número distinto de datos obtenidos y que por lo tanto para la utilización entre ellos sea necesario el tratamiento de datos para que puedan aplicarse entre ellos, lo que hace que aquellos ficheros que contaban con un mayor número de datos se vean reducidos para que pueda ser aplicado en conjunto con el resto de los archivos.

Además, gracias a la investigación realizada, se ha podido concluir lo siguiente:

- La adición de una cámara al dron sería positiva ya que, al realizar los vuelos, a parte de poder coger la información por parte de los sensores, podríamos tener las imágenes del vuelo y de esta forma aplicar otros métodos como el explicado en las alternativas del proyecto el PX4Mapper para la obtención de la altimetría del suelo a partir del video realizado durante la misión.
- La utilización de los sensores que compone el dron nos permitiría obtener un conjunto de datos que represente el ambiente por el que se mueve y sobre este intentar realizar algún desarrollo que haga que conozca en todo momento qué tiene a su alrededor y pueda prevenir golpearse contra distintos objetos mientras está realizando una misión.

Por otra parte, si a este conjunto de mejoras pudiéramos hacer que el dron recorriese toda una zona de manera exhaustiva podríamos observar el terreno aplicando el método de Delaunay que realizaría un mapa en relieve de la zona mostrando de una manera visual el lugar donde habría obstáculos o cambios de altitud en el terreno investigado.

Finalmente, cabe destacar como este proyecto fue realizado con un cuadricóptero que es de un peso medio y como esto hacía que durante la realización de las pruebas el viento pudiese mover sus ejes de coordenadas haciendo que los datos obtenidos en un principio no fueran tan fiables y por tanto había que aplicar las físicas relacionadas a los ángulos del dron para obtener el supuesto dato que debería haber detectado el dron. Este problema podría ser solucionado si el dron con el que se realizarán las pruebas fuera un octocóptero que gracias a su tamaño es muy estable y podría obtener los datos sin tener los problemas que pudieran generarse por el tiempo a su alrededor.

9. Referencias y bibliografía

- [1] "Historia de los drones." 2016 [Online]. Available: <http://eldrone.es/historia-de-los-drones/>.
- [2] M. Bonelli, "Mundo Drone: ¿Cuándo se inventaron los Drones? Historia de los Drones I." 2014 [Online]. Available: <http://mundrone.blogspot.com/2014/06/cuando-se-inventaron-los-drones.html>.
- [3] M. Bonelli, "Mundo Drone: Historia de los Drones II. De la IIGM a la Guerra Fría." 2014 [Online]. Available: <http://mundrone.blogspot.com/2014/06/historia-de-los-drones-ii-de-la-iigm-la.html>.
- [4] "Requisitos legales para ser piloto de drones." [Online]. Available: <http://dronvalencia.es/requisitos-para-ser-piloto-de-drones/>.
- [5] ToDrone, "España ya tiene mas de 2.000 operadores de drones registrados." 2017 [Online]. Available: <https://www.todrone.com/espana-mas-2-000-operadores-drones-registrados/>.
- [6] ToDrone, "La venta de drones se duplica en Estados Unidos." 2017 [Online]. Available: <https://www.todrone.com/venta-drones-duplica-estados-unidos-ultimo-ano/>.
- [7] M. Rouse, "What is drone (unmanned aerial vehicle, UAV)? - Definition from WhatIs.com," Oct-2016. [Online]. Available: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/drone>.
- [8] J. Montero, "Qué diferencias hay entre RPA, UAV, RPAS, UAS y dron." 18-Mar-2016 [Online]. Available: <https://www.todrone.com/diferencias-hay-entre-rpa-uav-rpas-uas-dron/>.
- [9] E. Santana, "Tipos de drones - Conoce todos los tipos de drones que existen." [Online]. Available: <http://www.xdrones.es/tipos-de-drones-clasificacion-de-drones-categorias-de-drones/>.
- [10] Jaime, "Los 5 usos civiles mas comunes en Drones." 2014 [Online]. Available: <http://dronespain.pro/los-5-usos-civiles-mas-comunes-en-drones/>.
- [11] "L3GD20H." Mar 2013 [Online]. Available: <http://www.st.com/en/mems-and-sensors/l3gd20h.html>.
- [12] "LSM303D." Nov 2013 [Online]. Available: <http://www.st.com/en/mems-and-sensors/lsm303d.html>.
- [13] "MPU-6000." [Online]. Available: <http://www.invensense.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>.

- [14] "MS5611-01BA03." [Online]. Available:
http://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Data+Sheet%7FMS5611-01BA03%7FB3%7Fpdf%7FEnglish%7FENG_DS_MS5611-01BA03_B3.pdf%7FCAT-BLPS0036.
- [15] "QGroundControl." [Online]. Available:
<http://docs.qgroundcontrol.com/en/>.
- [16] "Pixhawk series." [Online]. Available:
http://docs.px4.io/en/flight_controller/pixhawk_series.html.
- [17] "Introducción al Controlador de Vuelo de Drones PIXHAWK - Hardware libre." [Online]. Available: <http://gidahatari.com/ih-es/introduccion-al-controlador-de-vuelo-de-drones-pixhawk-hardware-libre>.
- [18] "Pixhawk 4." [Online]. Available:
http://docs.px4.io/en/flight_controller/pixhawk4.html.
- [19] "AESA." [Online]. Available:
http://www.seguridadaerea.gob.es/media/4305572/listado_operadores.pdf.
- [20] "BOE." 6 Mar, 2018 [Online]. Available:
<http://www.boe.es/boe/dias/2018/03/06/pdfs/BOE-A-2018-3156.pdf>
- [21] "LIDAR-Lite." [Online]. Available:
http://docs.px4.io/en/sensor/LIDAR_lite.html.
- [22] G. L. or its subsidiaries, "LIDAR-Lite v3." [Online]. Available:
<https://buy.garmin.com/es-ES/ES/p/557294>.
- [23] "BUS-L2C." [Online]. Available: http://robots-argentina.com.ar/Comunicacion_busl2C.htm
- [24] "Triangulación-Delaunay." [Online]. Available:
<http://es.mathworks.com/help/matlab/ref/delaunay.html>.
- [25] "Single-&-Coaxcopter." [Online]. Available:
<http://ardupilot.org/copter/docs/singlecopter-and-coaxcopter.html>.
- [26] "Multicopter." [Online]. Available:
<https://www.safaribooksonline.com/library/view/building-multicopter-video/9781782175438/ch01s02.html>.
- [27] Pascal, "Quelques notions de vol au travers de votre radio." 19-Sep-2015 [Online]. Available: <http://drone-about.fr/2015/09/19/quelques-notions-radio-multicoptere/>.

[28] "Gran profesional RC drone Increíble 6 eje 3D sistema de Vuelo maestro CP 6CH RC helicóptero con Devo 7E transmite VS v913." [Online]. Available: https://es.aliexpress.com/item/Free-Shipping-RC-drone-Amazing-6-Axis-3D-Flight-System-Walkera-MASTER-CP-6CH-RC-Helicopter/32467314269.html?src=ibdm_d03p0558e02r02&sk=&aff_platform=.

[29] "Qué es un DRONE. Tipos, nombres y componentes." [Online]. Available: http://www.rctecnic.com/blog/107_que-es-un-drone--tipos-nombres-y-componentes.

[30] 2015 at 1:30pm Posted by Andrea Zamuner Cervi on February 13 and V. Blog, "Coax Copter with Pixhawk." [Online]. Available: <https://diydrones.com/profiles/blogs/coax-copter>.

[31] "Quaternium bate el récord de autonomía con su dron híbrido HYBRiX.20." 2017 [Online]. Available: <http://www.dronepedia.es/blog/quaternium-record-autonomia-dron-hibrido-hybrix-20>.

[32] "Tipos de drones - Conoce todos los tipos de drones que existen." [Online]. Available: <http://www.xdrones.es/tipos-de-drones-clasificacion-de-drones-categorias-de-drones/>.

[33] "Talon x-UAV epo 1718mm envergadura kit aviones avión FPV v-cola v3." [Online]. Available: <https://www.banggood.com/es/X-UAV-Talon-EPO-1718mm-Wingspan-V-tail-FPV-Plane-Aircraft-Kit-V3-p-986526.html>.

[34] "Mapping: urban planning, terrain, cadastre and more." [Online]. Available: <https://pix4d.com/industry/mapping/>.

[35] "Perfil alar, perfil del ala de una aeronave." 20-Jul-2007 [Online]. Available: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Perfil_alar.jpg.

[36] "Luftschiff Montgolfier - Wikimedia Commons." [Online]. Available: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Luftschiff_Montgolfier.jpg.

[37] "Drones * HD Drones." [Online]. Available: <https://huescadrones.es/hddrones/drones/>.

[38] "Real Evaluation for Designing Sensor Fusion in UAV Platforms." Jesús García, Jose Manuel Molina, Jorge Trincado. Information Fusion Journal, 2018 (in press)

[39] "¿Cómo aprender a volar un dron? La guía definitiva." 2017 [Online]. Available: <https://wikiversus.com/electronica-y-gadgets/drones/como-aprender-a-volar-un-dron-guia-definitiva/>.

10. Acrónimos y definiciones

Dentro de este apartado se escribirán las definiciones de aquellas palabras técnicas o acrónimos escritos durante el proyecto

- . **UASes**: sistemas de aeronaves no tripulados.
- . **Vant**: Vehículos aéreos no tripulados.
- . **UAV**: Unmanned Aerial Vehicle (vehículo aéreo no tripulado).
- . **Dron**: aeronave que vuela sin tripulación.
- . **RPA**: Remotely Piloted Aircraft (aeronave pilotada por control remoto).
- . **VLOS**: Visual Line of Sight operations, que son las operaciones de vuelo dentro de la línea visual.
- . **BVLOS**: Beyond Visual Line of Sight operations, que son las operaciones de vuelos fuera de la línea visual.
- . **Sustentación**: principal fuerza en la aerodinámica que permite que una aeronave se mantenga en vuelo.
- . **Tándem**: configuración de la aeronave donde las alas están situados uno detrás del otro.
- . **Torque**: definición de la habilidad del motor para cambiar sus revoluciones por minuto.
- . **Tricópteros**: dron con tres rotores.
- . **Cuadricóptero**: dron con cuatro rotores.
- . **Octocópteros**: dron con ocho rotores.
- . **Alabeo o roll**: movimiento de un vehículo aéreo que gira sobre el eje X.
- . **Cabeceo o pitch**: movimiento de un vehículo aéreo que gira sobre el eje Y.
- . **Guiñada o yaw**: movimiento de un vehículo aéreo que gira sobre el eje Z.
- . **PX4**: software libre que sirve como sistema de control de drones.

. **LIDAR**: Dispositivo que permite detectar la distancia desde la aeronave al suelo a través de un emisor láser.

. **FMU**: Flight Management Unit (unidad de mantenimiento de vuelo).

. **ULG**: archivos con datos binarios registrados por los sensores.

. **CSV**: Comma-Separated Values (valores separados por comas).

. **BOE**: Boletín Oficial del Estado.

. **L2C**: Es un bus el cual facilita la comunicación entre microcontroladores, memorias con otros dispositivos con inteligencia y permite intercambio de información entre muchos dispositivos a una buena velocidad.

. **PWM**: potencia máxima y valido como un tipo de señal.

. **AESA**: Agencia Estatal de Seguridad Aérea.

11. Project summary

11.1. Abstract

If we look at the popularity of air vehicles we can see how in recent years these have experienced a great continued growth where much of this growth has been achieved thanks to the continuous investigation of these devices and their possible improvements for their use in all types of environments and with all kinds of applications.

At first, the principal use for the drones was in the military and from that day now is used for all types of sectors such as agriculture, archaeology, construction, logistics, land surveillance thanks to its versatile use in each of these fields.

As it can be observed, thanks to the use of this object day after day in some work places is necessary evolve and upgrade his utility on those places and for that they search to get a more autonomy on the drone and less control and follow-up from the human. So, the principal objective is to get the most reliability and efficiency of the drone in the different fields of work he has available.

Among all the possible fields on which you can apply the drones on this TFG i focused on the investigation of obtaining the altimetry through the sensors that compose this drone and to obtain the difference between these, to get the more reliable data and to be able to make 3D maps with the terrain traveled by the drone. That means, a study of the reliability of the sensors of the drone to check the reliability of the data obtained and possible ways of improving them and calculating the altimetry of the soil during the missions thanks to the LIDAR sensor that has equipped the drone. That will be carried out a study to try to obtain the most reliable data possible considering the environment of the drone during the missions to be able to finally show a 3D map with the route carried out and considering all kinds of obstacles encountered during the flights carried out.

For this this project, the drone It was used was a quadcopter configured in X that is versatile and easy to handle. This quadcopter uses a PIXHAWK4 software which contains most of the sensors that will be studied during the flight of the drone, the drone also uses a GPS, a barometer and the aforementioned LIDAR to deal with the altimetry from the drone altitude to the ground and make a comparison between these to get to know which is that the drone takes as a reference in the flights. The software used in the flights have QGroundControl, this program will always be monitoring the drone since it is armed until it shuts down. To do this, in the first place, the drone has to be configured to be detected through telemetry and once it is calibrated, it can be used to select the type of flight you want to perform in the area as well as to indicate the speed you want to keep throughout the flight , the height on which you want to fly at each selected waypoint and the waypoint to land and take off. With all this once the missions are done it is necessary to get the logs from the sensors to work with them. In the first place, it's necessary to transform the logs from the .ulg format to an excel format on which we will make the graphics.

The steps that will be followed throughout the project can be differentiated into 9 different parts, where each of them will have a different functionality than the rest.

- All sensors will be configured, and the drone calibrated before the flight is carried out.
- Specify the type of test to be carried out considering the terrain in which it is going to circulate and what is intended to demonstrate with that test.
- During the flight the program knows always what the situation of the drone is and looking that everything is working as specified.
- Once the flight is finished we take the log of the flight for your future study.
- The data obtained by the log is transformed to a delimited format that can be used in Excel using a script programmed in Python. Once transformed, they are modified by having a comma-delimited format.

- Con los datos obtenidos se aplica el tratamiento de datos de los distintos ficheros obtenidos con el objetivo de plantear los datos de la manera mas fiable y cercana a la realidad.

- • With the data obtained it applies the data processing from the different files obtained with the objective of getting the data in the most reliable way and close to the reality.

- The graphics are made through Matlab and Excel

- These graphics are checked and determined if the objective is met and if everything has worked the way it was expected

As the last step of this iterative cycle, we prepare for the following test and the following objective. This whole process is repeated until all the tests are completed.

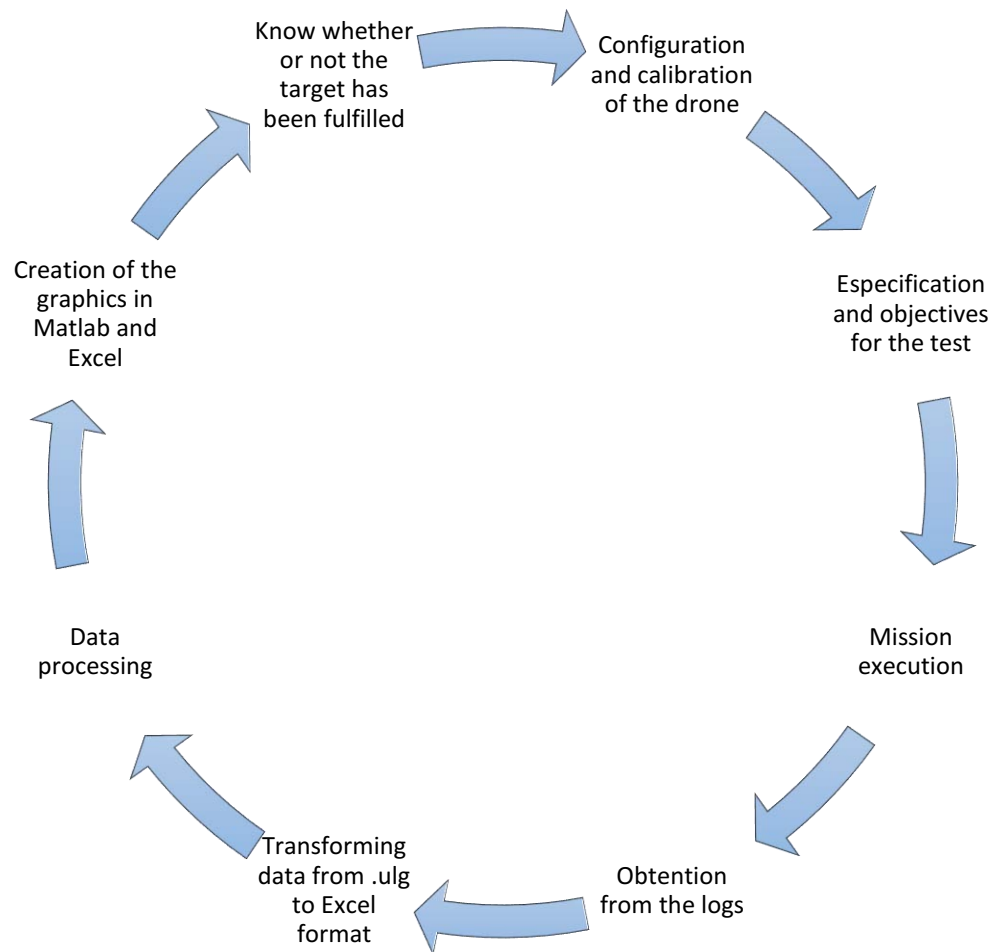


Ilustración 55: iterative process of the project.

With all the process specified, it seeks to obtain the greatest reliability of the data during the tests knowing how the drone and its sensors behave in the different terrains and thus to obtain the height of the terrain in the most optimal way and close to the reality.

11.2. Objectives

The objective of this project is the capture, processing and analysis of sensor data taking into account the data provided during the different flights. Within this objective, other sub-objectives will be taken into account, such as:

- Configuration of the hardware of the drone, having the drone prepared with all its sensors prepared for the flights and configured for trying to obtain the highest reliability.

- Configuration of the hardware to be used during the flights so that this calibrated with the drone and has control of the flight at all the time and with an error rate as small as possible in relation to the movement of the drone during the missions.

- Preparación de las misiones teniendo en cuenta distintos valores que se aplicarán durante el vuelo además de los distintos circuitos que se realizarán para conocer el comportamiento de todos los sensores en los distintos terrenos.

- Preparation of the missions considering different values that will be applied during the flight in addition to the different circuits that will be carried out to know the behavior of all the sensors in the different areas they are used.

- Treatment of LIDAR compared to the rest of sensors that treat heights to obtain the altimetry of the soil with the drone during the missions performed.

In addition, the project has secondary objectives whose fulfillment is also necessary for future projects using the same technology:

- Study of the future improvements that may be added to the proposed solution for the height of the soil considering the use of a camera to help the LIDAR get the most reliable data using other software than the ones used in this project such as PX4Mapper.

- Analysis of the sensors of the drone to get to know how all of them work together to use them for prediction while it's flying, in this case to be able to dodge all the obstacles the drone may encounter during his missions.

11.3 Results

In this section, an analysis of all the work carried out will be made, commenting on both, the fulfillment of the objectives set by the project and those objectives that could be implemented in future projects that may arise from it.

On one hand, taking into account all the tests carried out in the project we can see how they all had a clear pattern that was like the drone in all its flights it took as a reference sensor the GPS more than the barometer or the LIDAR, due to the first one was capable to know in a reliable way their position in each moment and therefore it was not necessary to have the rest as a reference. In

this way, we can also observe how in all flights performed, the barometer sensor configuration, in this case the altitude it provides during the flight, was very different from that provided by GPS or by what the drone took as global (which in this case it was mainly based on GPS with slight variations).

On the other hand if we take into account the secondary objectives, we have been able to discover these as possible improvements in the drone, such as the addition of a camera in the drone or the recognition of a complete area during the mission could make the results obtained in the tests were more reliable and could be observed in a clearer way than they are currently represented, in this case thanks to the Delaunay method where you could observe map the form of which the land is composed whose was gotten by the drone during his mission and thanks to the camera that could detect the height of the terrain in a broader way than what is currently obtained with the use of LIDAR

If we observe the time planning assigned to the project, it has been quite similar to the one that was finally obtained during the project, although it can be observed that the greatest development time is in the final areas of the project where everything was checked up to and where we give the final touch to the work. This should be corrected in future projects since it should have a continuous development and work throughout the project without having months of saturation.

As for the functional requirements, in this case the graphs corresponding to the tests, we will see if they could be fulfilled with the data of the flights of the drone in the following table:

Identifier	Requisite	Verification
RF-01	Addition of the LIDAR sensor to the drone for the missions	This was the first requirement to verify since it was the necessary pillar for the rest of the requisites.
RF-02	Creation of a method that shows in a graph the heights provided by the GPS, barometer and LIDAR sensors	Analyzing the files corresponding to the GPS, barometer and LIDAR it was possible to take the heights of each one of the files and compare them to each other in a graph made in Matlab.
RF-03	Creation of a method that shows a graph with the mission carried out considering the longitudes and latitudes.	Analyzing the file that contains global data of the drone a graph in Matlab was made specifying in each case the mission to realize it.
RF-04	Creating a method that shows a graph with the movements of the pitch and the roll during the mission	Analyzing the file of the drone ratios, two graphs were made in Matlab, one to observe the pitch through time and another for the roll for each test performed.
RF-05	Creation of a method that shows a graph with the height in meters of the LIDAR throughout the mission	Analyzing the file containing the LIDAR data, the LIDAR data was obtained throughout the mission and its corresponding graph was generated in Matlab

RF-06	Creation of a method that shows a graph with the heights obtained by the LIDAR during the flight and by the distances corrected by the LIDAR taking into account the pitch and roll	Carrying out data processing to be able to match the data of the drone inclination with the LIDAR data, the corresponding operation is performed to obtain the data of the corrected LIDAR heights and an Excel graph is generated showing the differences between both
RF-07	Creation of a method that generates a 3D graph where the path taken by the drone can be observed, indicating the height of the terrain at each point watching the latitude and longitude points	Carrying out the data processing between the files of the inclination ratios of the drone, the global and the LIDAR, a file is generated in which the 3D graph is made in Matlab, showing on the mission carried out by the drone the heights of the terrain.

Tabla 17: verifying requirements in the project.

11.4 Conclusions

The project has consisted in the analysis and development of techniques for obtaining soil altimetry using the LIDAR sensor attached to the drone.

To this end, in the first place, the project has studied the environment related to the technology of the drones to know in depth its operation and its applications, from which we can extract the following key points.

- The drone industry is at a point of increase thanks to its multiple applications in the different working environments and thanks to the daily knowledge by more and more people making the drones an increasingly well-known element in society.
- The main improvement that is sought in these aircraft is its system of autonomous control so that the human being does not have to maintain a constant control on the machines and these same know what actions has to do in every moment in a reliable and efficient way.

For all these reasons and having focused my project on the Cartographic field, all the tests and development have been focused on knowing the different sensors that act during the missions performed by the drone and compared those that are based on the heights of the terrain such as GPS, barometer and LIDAR. Once knowing their behavior, for the creation of the graphs that represent the terrain on which the drone has been studied the behavior of the LIDAR sensor and its form of representation to demonstrate that the data obtained by the said sensor were Correct.

The following conclusions can be drawn from the development of this project:

- For the realization of the project it has been necessary the acquisition of multiple knowledge related to the environment of the drones, to the graphic generation environment and the operation of the specific software of this project.

- A thorough study of the QGroundControl software specialized in the monitoring of the drone during flights and everything related to the configuration of the drone's sensors and calibration among other things.

Generically it can be concluded that it is possible to obtain the altimetry of the soil with the LIDAR sensor taking into account the drone's overall position to obtain the most reliable data possible, which allow to generate 3D graphics that show the correct functioning of these.

As a counterpart of this whole functional system is like the difference of data collection ratios of the different sensors makes each file has a different number of data obtained and therefore for the utilization between them it is necessary the data processing so that they can be applied between them which makes those files that had a greater number of data to be reduced so that it can be applied in conjunction with the rest of files.

In addition, thanks to the research carried out of future improvements for the project it has been possible to study how the use of a camera attached to the drone would make the set of data received to obtain the height of the terrain was more reliable and verifiable since It could be a comparison between the data obtained in the LIDAR and those obtained by the software that performs data processing of images obtained by the camera to know which could be applied as a way to arrive in a more accurate way to the solution.

On the other hand, if to this set of improvements, we could make the drone to go a whole area in an exhaustive way we could observe the terrain applying the method of Delaunay that would make a map in relief of the zone showing in a visual way the place where there would be obstacles or altitude changes in the field investigated.

Finally, it is worth noting how this project was made with a quadcopter that is of a medium weight and as this made during the performance of the tests the wind could move its axes of coordinates making that the data obtained at the beginning were not so Reliable and therefore had to apply the physics related to the angles of the drone to obtain the alleged data that should have detected the drone. This problem could be solved if the drone with which the tests will be carried out an octocopter that thanks to its size is very stable and could obtain the data without having the problems that could be generated by the time around it.